

UNIVERSITÄT HEIDELBERG  
ZENTRUM FÜR ALTERTUMSWISSENSCHAFTEN  
INSTITUT FÜR UR- UND FRÜHGESCHICHTE

**Dokumentation und Datenerfassung auf  
Ausgrabungen.**  
**Eine Vernetzung der unterschiedlichen Möglichkeiten  
konventioneller und moderner Verfahren.**

**Magisterarbeit**  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Magister Artium (M.A.)

Abgegeben am 14.10.2013

Gutachter:  
Prof. Dr. Clemens Eibner  
Prof. Dr. Joseph Maran

EINGEREICHT VON  
Matthias Guth  
Im Sand 9  
69115 Heidelberg  
Matrikelnummer: 2289729

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Zielsetzung und Motivation . . . . .	1
1.2	Aufbau der Arbeit . . . . .	2
1.2.1	Kapitel „Datenaufnahme“ . . . . .	2
1.2.2	Kapitel „Einreichungsform und Archivierung digitaler Daten“ . . .	3
1.2.3	Kapitel „Projekt ‚Pantora‘“ . . . . .	4
1.3	Hinweise zur Terminologie . . . . .	4
1.3.1	„Daten“und „Information “ . . . . .	5
1.3.2	„Dokumentation“und „Digitale Dokumentation“ . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Datenaufnahme</b>	<b>9</b>
2.1	Ausgangssituation auf Ausgrabungen . . . . .	10
2.2	Unterteilung der Aufnahmemethoden . . . . .	15
2.2.1	Abbildende Aufnahmen . . . . .	15
2.2.1.1	selektive Aufnahmen . . . . .	15
2.2.1.2	Rasteraufnahmen . . . . .	16
2.2.2	Physische Aufnahmen . . . . .	16
2.2.3	Listen und Tabellen . . . . .	17
2.2.4	Beschreibende Daten . . . . .	17
2.3	Das Grabungsraster als Basis . . . . .	18
2.3.1	Einrichten des Grabungsrasters . . . . .	19
2.3.2	Informationsaufnahme und Dokumentation auf Basis von Vermes- sungsdaten . . . . .	21
2.4	Einsatz der Aufnahmemethoden . . . . .	23
2.4.1	Orthogonalverfahren . . . . .	24
2.4.2	Nivellierung . . . . .	24
2.4.3	Theodolit und Tachymeter . . . . .	25
2.4.4	Geräte auf Basis von Triangulation und Trilateration . . . . .	25
2.4.5	Fotografie und Photogrammetrie . . . . .	28
2.4.6	3D-Scanning . . . . .	30
2.4.7	Zeichnerische Dokumentation . . . . .	32
2.4.8	Beschreibende Dokumentation . . . . .	34



<b>3</b>	<b>Einreichung und Archivierung digitaler Daten</b>	<b>36</b>
3.1	Lesbarkeit und Interpretierbarkeit . . . . .	39
3.1.1	Dateisysteme . . . . .	40
3.1.2	Dateiformate und Programme . . . . .	42
3.1.2.1	Bilddaten . . . . .	44
3.1.2.2	Textdaten . . . . .	47
3.1.2.3	2D- und 3D-Vektordaten . . . . .	49
3.1.2.4	Datenbanken . . . . .	51
3.2	Haltbarkeit von Daten und Datenträgern . . . . .	55
<b>4</b>	<b>Projekt <i>Pantora</i></b>	<b>59</b>
4.1	Hardware . . . . .	61
4.1.1	Aus dem Prototypen gewonnene Erkenntnisse . . . . .	63
4.1.2	Idee und Versuch der Weiterentwicklung . . . . .	65
4.2	Software . . . . .	67
4.2.1	Informationsgehalt von Grabungszeichnungen . . . . .	68
4.2.2	Herangehensweise und technischer Hintergrund . . . . .	70
4.2.3	Anwendung und Funktionsumfang . . . . .	71
4.2.4	Ausblick auf eine mögliche Weiterentwicklung . . . . .	73
<b>5</b>	<b>Fazit</b>	<b>77</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Zielsetzung und Motivation

Das gemeinsame Ziel einer jeden archäologischen Ausgrabung ist es, die Hinterlassenschaften des historischen Lebens aufzudecken und zu versuchen, die aufgedeckten Situationen zu lesen und für die Nachwelt festzuhalten. Die meist aufgrund einer anstehenden Baumaßnahme, durch die eine Zerstörung des im Boden verborgenen Kulturguts zur Folge hat, anfallenden Untersuchungen eines Areals haben zur Hauptaufgabe, die vorgefundene Situation auf eine solche Weise zu dokumentieren, dass erkannte Zusammenhänge und Entdeckungen auch nach der unvermeidbaren Zerstörung weiterhin greifbar und im Forschungssinne zu verwerten sind. Jede Ausgrabung und die damit zu Tage gebrachten Informationen über die Vergangenheit helfen, die Geschichte der Menschheit Stück für Stück zu entschlüsseln.

Bis der Mensch es verstanden hat, die archäologischen Fundstätten zu erkennen und schließlich auch im entsprechenden Umfang die aufgedeckten Informationen zu konservieren, brauchte es jedoch seine Zeit. Auch wenn es bereits ein generelles menschliches Interesse an der eigenen Vergangenheit gab, die sich lange jedoch auf das Bergen und Sammeln von Gegenständen konzentrierte, kann man von der Archäologie als Forschungszweig erst seit dem letzten Viertel des 19. Jahrhunderts sprechen<sup>1</sup> sprechen. Die Methodik der Datenerfassung entwickelte sich in dieser Zeit stetig fort und die auf diese Daten aufbauende Dokumentation wuchs in Bezug auf Umfang, Genauigkeit und Informationsgehalt parallel hierzu.

Die Entwicklung von automatischen Rechenmaschinen Anfang der 40er Jahre des 19. Jahrhunderts, die das schnelle Verarbeiten von mathematischen Gleichungen im größeren Rahmen ermöglichte, spielte zunächst für die Archäologie keine bedeutende Rolle und erste Versuche, die Rechenmaschinen für statistische Auswertungen auch für die Altertumsforschung zu nutzen, fanden erst Ende der 50er, Anfang der 60er Jahre des letzten Jahrtausends statt<sup>2</sup>.

Spätestens seit Mitte der 1980er Jahren, in denen die sogenannten „Heimcomputern“ zunehmend auch in Privathaushalten anzutreffen waren, setzte eine Entwicklung ein, deren Höhepunkt in der heutigen Zeit zu finden ist: Fast jeder Bereich des täglichen Lebens wird von IT-Technik unterstützt oder sogar ganz übernommen. Diese Entwicklung ist auch auf die Archäologie übertragbar. Spätestens Ende der 80er Jahre spielten Prozessoren auch eine Rolle für die Datenaufnahme im Feld<sup>3</sup> und heutzutage verfügt fast jede Grabung über eigene EDV, deren Einsatz von einfachen, verwaltungstechnischen Aufgaben bis hin zum hochmodernen 3D-Scanning reicht.

---

<sup>1</sup> Eggert 2001, 9

<sup>2</sup> Reilly – Rahtz 1992, 1

<sup>3</sup> Reilly – Rahtz 1992, 4

Die klassischen Methoden der Grabungsdokumentation wie das Anfertigen von Zeichnungen sind jedoch auch heute noch unverzichtbar und der Informationsgehalt solcher Dokumente ist nur schwer durch Mittel der EDV zu ersetzen. Der persönliche Einfluss des Zeichners auf das Endergebnis auf Papier ist eine wichtige Quelle für eine nach Abschluss der Grabung erfolgende Auswertung, in der die Grabungsmannschaft höchstens noch peripher involviert ist.

In dieser Arbeit sollen klassische und moderne Methoden und deren Auswirkung auf die Dokumentation von Ausgrabungen untersucht werden, unter besonderer Berücksichtigung von Problemen und Gefahren, die sich erst mit der Anwendung digitaler Technik ergeben. Des weiteren soll erörtert werden, auf welche Weise sich die analogen und digitalen Bereiche miteinander vernetzen lassen. Anhand der mit dieser Arbeit eingereichten Software soll dies verdeutlicht werden.

## 1.2 Aufbau der Arbeit

### 1.2.1 Kapitel „Datenaufnahme“

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in drei Kapitel, von denen sich das erste mit der Datenaufnahme, wie sie während der Ausgrabung stattfindet, beschäftigt. Da eine Aufnahme nur dann erfolgen kann, wenn Klarheit über die Ausgangslage besteht und ein gewünschtes Ziel definiert wurde, erfolgt zunächst eine Analyse der Ausgangssituation, wie sie im Rahmen einer Ausgrabung anzutreffen ist. Im Rahmen dessen werden die unterschiedlichen Vorgehensweisen vorgestellt, die bei einer archäologischen Untersuchung eines Bodendenkmals angewandt werden, und deren Einfluss auf die Einsetzbarkeit der Dokumentationsmethoden und die daraus resultierenden Daten erörtert. Ein wichtiger Aspekt ist hierbei die Beschreibung der Auswirkung von Vorgehensweisen, Methoden und natürlichen Gegebenheiten oder aber auch pragmatischen Faktoren wie Zeit, Kosten oder das Jahr, in dem die Ausgrabung stattfand, auf die Form, Menge und Güte von Daten und Information.

Im Anschluss soll versucht werden, die Methoden unter Berücksichtigung der daraus resultierenden Datensätze und Informationen in abstrakte Bereiche zu unterteilen. Hier wird die Ausgangslage, also die im Verlauf einer Ausgrabung freigelegten, reell vorhandenen Informationen, und die grundsätzliche Frage, wie eine Aufnahme stattfinden kann, betrachtet. Eine Unterteilung in analog und digital ist erst im Rahmen der aus den eingesetzten Aufnahmepraktiken resultierenden Datensätzen möglich.

Im Verlauf der Entwicklung der Archäologie als Wissenschaft haben sich auch Methodik und Technik bei Ausgrabungen stetig verfeinert. Die Vermessung des Areals und der Funde und Befunde kann jedoch als beständiges Grundelement der gesamten Forschungsgeschichte angesehen werden, durch das alle gewonnenen Daten miteinander vernetzt sind. Aus diesem Grund beschäftigt sich der darauf folgende Abschnitt des ersten Kapitels mit dem Grabungsraster als Basis für die gesamte Dokumentation.

Schließlich werden die Aufnahmemethoden vorgestellt, über die die durch den Grabungsvorgang aufgedeckten Informationen extrahiert und gesichert werden. Am Ende der unterschiedlichen Wege der Datenakquise stehen dann schließlich Datensätze zur Verfügung, die auf analoge oder digitale Weise gespeichert werden können.

### 1.2.2 Kapitel „Einreichungsform und Archivierung digitaler Daten“

Das anschließende Kapitel behandelt die Form der Daten, wie sie nach Abschluss der Grabung bei der zuständigen Stelle eingereicht werden. Das Hauptaugenmerk sind hier die digitalen Daten, da zum einen die Aufbewahrungsart von in physischer Form - hauptsächlich auf Papier - vorliegenden Daten trivial ist<sup>4</sup>, zum anderen das nachhaltige Archivieren und die Nutzbarkeit von digitalen Daten besonders in Bezug auf die Grabungsdokumentation eine äußerst wichtige Rolle spielt: Da durch eine Ausgrabung die ursprüngliche Situation unwiederbringlich zerstört wird<sup>5</sup>, sind die erhobenen Daten fortan die Primärquelle für die Untersuchung der dort freigelegten Situation. Ein Verlust dieser Daten entspräche der vollständigen Zerstörung der historischen Hinterlassenschaften. Seitdem die EDV auch für die archäologische Forschung eingesetzt wurde, veränderte sich die Technik der Computer gravierend und auch in Zukunft wird der Fortschritt hier große Änderungen mit sich bringen.

Aus diesem Gründen soll in diesem Kapitel unter anderem auf Probleme eingegangen werden, die auf technische Veränderungen der Speicherhardware und die darauf eingesetzten Dateisysteme verursacht werden können. Zum anderen werden die gängigen Dateiformate und Programme, die für die digitale Grabungsdokumentation und die Digitalisierung von Analogdaten eine Rolle spielen, vorgestellt und was bei der Wahl dieser mit besonderem Blick auf eine Sicherung der langfristigen zukünftigen Nutzbarkeit beachtet werden sollte.

Der letzte Aspekt, der in diesem Kapitel abgehandelt wird, ist die Haltbarkeit von Daten und Datenträgern, an den diese gebunden sind. Es soll kurz angerissen werden, wie archäologischen Richtlinien mit diesem Thema umgehen.

---

<sup>4</sup> Hiermit ist nur die tatsächliche Lagerung der Objekte in Regalen oder Schränken gemeint. Konservierungs-, oder im Falle von Funden auch Restaurierungsmaßnahmen sollen nicht Thema dieser Arbeit sein.

<sup>5</sup> Dally et al. 2012, 162

### 1.2.3 Kapitel „Projekt ‚Pantora‘“

Das letzte Kapitel widmet sich dem unter anderem im Rahmen dieser Masterarbeit entwickelte Hard- und Softwareprojekt *Pantora*. Der Hardwareteil war ein Versuch, die zeichnerische Dokumentation, genauer gesagt die im diesem Rahmen stattfindende Vermessung, zu beschleunigen und gleichzeitig die Aufnahme zu digitalisieren. Nach der Vorstellung des Prototyps und den daraus gewonnenen Erkenntnissen, wird kurz der aus Zeitgründen bis auf weiteres abgebrochene Versuch einer Weiterentwicklung und Verbesserung der Methodik eingegangen.

Der weitere Verlauf des Kapitels widmet sich dem Softwareteil von *Pantora*, der vollständig im Laufe dieser Arbeit entwickelt wurde. Hierbei handelt es sich um einen Vorschlag, wie sich die Überführung der Zeichnungen einer analogen Grabungsdokumentation in digitale Formate gestalten könnte. Dabei wurde im Besonderen darauf geachtet, dass sich die Benutzung des Programms möglichst nahe an der Arbeit des Archäologen orientiert. So sollte es auch für ungeübte Nutzer möglich sein, innerhalb von kurzer Zeit aus Digitalisaten von Zeichnungen ein dreidimensionales Modell zusammenzusetzen. Es wird zunächst diskutiert, welche Informationen auf einer Grabungszeichnung festgehalten sind. Dies soll zum einen verdeutlichen, dass diese Illustrationen in der Vernetzung der analogen Daten eine Schlüsselrolle spielen.

Der darauf folgende Abschnitt erklärt, wie sich die Herangehensweise von *Pantora* an die Extraktion dieser Informationen gestaltet. Anschließend wird beschrieben, wie ein Arbeitsablauf im Programm funktioniert und welchen derzeitigen Funktionsumfang dieses bietet.

Als Abschluss folgt ein Ausblick darauf, was im Rahmen einer Weiterentwicklung von *Pantora* umgesetzt werden könnte und wie die Prioritäten diesbezüglich gesetzt werden sollten.

## 1.3 Hinweise zur Terminologie

Im Vorfeld ist es nötig auf die Definitionen verschiedener Termini einzugehen, die in dieser Arbeit des öfteren benutzt werden. Zunächst sind dies die Begriffe *Daten* und *Information*, da diese nicht nur zwischen den verschiedenen Fachbereichen, sondern auch innerhalb dieser unterschiedlich benutzt werden. Zum anderen sollte festgelegt werden, was unter *Dokumentation* und *Digitale Dokumentation* zu verstehen ist und ob hier eine klare Trennung überhaupt möglich ist.

### 1.3.1 „Daten“und „Information“

In der Informatik findet man unter dem Begriff *Daten* folgende Definition: „Zum Zweck der Verarbeitung zusammengefasste Zeichen, die aufgrund bekannter oder unterstellter Abmachungen Informationen (d.h. Angaben über Sachverhalte und Vorgänge) darstellen.“<sup>6</sup> Dies bedeutet, dass jede beliebige Zeichenkette als Datum bezeichnet werden kann. Und da jedes Zeichen in der Informatik als binäre Folge abbildbar ist, kann man jede Zeichenkette als eine Reihe von Nullen und Einsen, sogenannten Bits beschreiben. In Blöcke fester Größe, deren kleinste Einheit ein „Byte“ ist, unterteilt, stellen diese die grundlegende Struktur dar, in der Daten aus informationstechnischer Sicht festgehalten, also gespeichert werden. In der Regel sieht sich ein Anwender jedoch nicht mit diesen Binärfolgen konfrontiert, da diese für den Menschen nur schwer zu verstehen sind. Hierfür kommen Zeichentabellen zum Einsatz<sup>7</sup>, mit deren Hilfe diese Folgen in lesbare Zeichen übersetzt werden können<sup>8</sup>. Neben für den Menschen verständliche Zeichen wie Ziffern und Buchstaben, enthalten diese zudem noch Steuerzeichen, wie etwa Zeilenumbruch oder Wagenrücklauf, die vom dem darstellenden Programmen oder auch von Druckern zur Positionierung der folgenden Zeichen interpretiert werden.

Von der archäologischen Seite aus gesehen, umschreibt der Begriff *Daten* allerdings etwas anderes, das zunächst nicht der Definition der Informatik entspricht. In ihrem 1985 erschienenen Werk „Data processing in archaeology“ stellen Richards und Ryan fest: „Archaeological data consists of observations about artefacts and their contexts. An artefact is a material thing made or modified by human action.“ und weiter „All artefacts have attributes.“<sup>9</sup>. Laut dieser Aussage umfasst der archäologische Datenbegriff also keine Zeichen oder Binärreihen, sondern vielmehr Objekte und deren Beziehung zueinander oder zu deren Umfeld.

Anhand dieser beiden Beispiele ist bereits erkennbar, dass der Begriff *Daten* nicht klar definiert ist, beziehungsweise keine klaren Grenzen hierfür festlegbar sind. Vielmehr handelt es sich zunächst um einen abstrakten Sammelbegriff, der einzelne Elemente eines bestimmten Struktur vereint. Spricht man von *Daten*, ohne dass der Kontext, also die dahinter verborgene Struktur bekannt ist, ist deren Aussagekraft für den Menschen äußerst gering: Ohne eine Codetabelle ist eine Binärfolge genauso unverständlich, wie ein Artefakt ohne dessen Fundkontext. An dieser Stelle muss der Terminus *Information* erwähnt werden,

---

<sup>6</sup> <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/54483/daten-v5.html> [10.07.2013]

<sup>7</sup> vgl. Richards – Ryan 1985, 26

<sup>8</sup> Tafel 1: der erweiterte ASCII (American Standard Code for Information Interchange) Zeichentabelle.

<sup>9</sup> Richards – Ryan 1985, 13

der oftmals synonym für den Datenbegriff verwendet wird, was jedoch nicht in jedem Falle ganz korrekt ist. *Information* bezeichnet das Verständnis der Daten.

Während der Konferenz der CAA<sup>10</sup> im Jahr 2003 in Wien beantwortet Prof. Dr. Heinz Zemanek, ein Österreichischer Pionier der Computertechnik, in seiner Eröffnungsrede die Frage, was *Information* sei, mit: „Information can not be defined and, therefore, must not be defined. Because definition means restriction or limitation, but on the other side of the limiting line of the ‚definition‘ is again information.“<sup>11</sup>. Auch wenn er den Begriff *Information* als undefinierbar ansieht, da diese nicht eingeschränkt werden kann oder besser soll, weist er darauf, dass jeder weiß, was *Information* bedeutet.<sup>12</sup>

Häuber und Schütz führen als pragmatisches Beispiel für ein *Datum* die Zahl 33 an, die für sich alleine genommen keine Aussagekraft habe, jedoch durch den Kontext *Temperatur* zur Information werde<sup>13</sup>. Folgt man strikt diesem Beispiel, so muss dieser Aussage allerdings widersprochen werden, da auch die Zahl 33 dann bereits eine *Information* darstellt: Die Bezeichnung als *Zahl* weist „33“ als eine Reihe von Ziffern aus. Den *Ziffern* hingegen liegt eine Zeichentabelle, die indisch-arabische Zahlschrift, zu Grunde, durch die der Leser das Zeichen „3“ erst als zählendes Element erkennt und dessen Wertigkeit nur dadurch klar wird, dass diese Zahlschrift das Dezimalsystem als Basis hat. Man kann diese Reihe wohl beliebig weiterführen.

*Datum*, *Kontext* und *Information* könnte man sich als hierarchische Einheit vorstellen, wobei *Information* an oberster Stelle steht. Auch die einzelnen Einheiten untereinander bilden eine Hierarchie: das *Datum* der oberen Ebene ist mit dem gesamten Element der darunterliegenden Ebene gleichzusetzen.

Diese Beispiele haben jedoch alle eine Aussage gemein, die als Ergebnis dieser Diskussion festgehalten werden kann: Sollte der Kontext fehlen, können Daten nicht in Information überführt werden. Am Beispiel der menschlichen Sprache kann man dies recht gut erkennen: Ein gesprochener Satz, das *Datum*, wird erst dann für den Zuhörer verständlich und somit zur *Information*, wenn dieser die Sprache beherrscht, also den *Kontext* kennt. Durch den *Kontext* werden *Daten* zur verständlichen *Information*.

Von der archäologischen Seite aus gesehen sind *Daten* sehr viel abstrakter, als die der Informatik. Durch den eigentlichen Grabungsvorgang, das Freilegen der Befunde, deren Erkennen, und damit einhergehend auch einer ersten Interpretation durch die Ausgräber wer-

---

<sup>10</sup> Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology

<sup>11</sup> Magistrat der Stadt Wien 2004, 17

<sup>12</sup> Magistrat der Stadt Wien 2004, 17

<sup>13</sup> Häuber – Schütz 2004, 19f

den die abstrakten Daten in eine konkrete Form überführt, die im informationstechnischen Sinne greifbar und die Grundlage für die zeichnerische und auch die digitale Dokumentation ist. Anhand eines Befundes soll dies verdeutlicht werden: Als *Daten* gelten alle tatsächlich vorhandenen Gegebenheiten und sämtliche Eigenschaften - auch die, die weder Mensch noch Maschine erfassen können. Die Archäologie stellt in diesem Falle den *Kontext* dar, durch den festgelegt ist, welche dieser Daten von Relevanz sind und wie die *Information* gestaltet ist, um im archäologischen Sinne wertvoll zu sein. So wird die *Information* zum Beispiel Aussagen enthalten über Grenzen und Form des Befundes oder das eingeschlossene Material und dessen Eigenschaften wie Farbe, Korngröße oder Konsistenz, jedoch andere, zweifellos vorhandene *Daten* wie Temperatur oder aber auch Geschmack höchstwahrscheinlich nicht aufgenommen und dokumentiert werden.

*Daten* und *Information* liegen äußerst nah beieinander und decken sich in vielen Punkten ihrer Definition. Deshalb werden im Verlauf dieser Arbeit diese Begriffe weitestgehend synonym benutzt und die Unterscheidung nur dort angewandt und hervorheben, wo es zwingend erforderlich ist. Damit verbundene Termini wie beispielsweise *Datenverarbeitung* werden ebenfalls in ihrem allgemein gebräuchlichen Sinne eingesetzt.

### 1.3.2 „Dokumentation“ und „Digitale Dokumentation“

Es bedarf einer kurzen Erläuterung der Termini *Dokumentation* und *digitale Dokumentation*, damit in den folgenden Kapiteln Klarheit über deren Verwendung herrscht. In der vom Verband der Landesarchäologen veröffentlichten Grabungsrichtlinie „Ausgrabung und Prospektion“ wird der Ausdruck *digitale Dokumentation* auf eine andere Weise benutzt und bestimmt, als es in dieser Arbeit getan wird. So heißt es dort: „Unter Digitaler Dokumentation wird jede Art von Dokumentation verstanden, bei der Funde, Befunde und andere grabungsbezogene Daten mittels EDV dokumentiert werden und im Gegenzug dafür auf Handzeichnungen bzw. Listen verzichtet wird.“<sup>14</sup> Im speziellen der letzte Teil ist nicht zutreffend, da die digitalen Methoden in den seltensten Fällen die klassischen Methoden ersetzen, sondern diese vielmehr ergänzen. M. Schaich merkt hierzu treffend an: „Trotzdem sollte die Abgabe einer ausschließlich digitalen Dokumentation (z.B. auf CD-ROM) grundsätzlich vermieden werden. Alle Pläne, Datenbanken, Texte etc. müssen zusätzlich im Ausdruck vorliegen, damit auch ohne Hard- und Softwareausstattung auf die Dokumentation zugegriffen werden kann.“<sup>15</sup>

---

<sup>14</sup> Verband der Landesarchäologen 1999, 16

<sup>15</sup> Siehe Gersbach et al. 1998, 142



Dennoch ist eine Differenzierung vonnöten, weshalb im weiteren Verlauf dieser Arbeit der Begriff *analoge Dokumentation* sämtliche auf klassische Weise, d.h. ohne Hilfe elektronischer Werkzeuge, aufgenommenen Daten wie Zeichnungen oder aber auch Höhen- und Koordinatenangaben auf Papier zusammenfasst.

Die *digitale Dokumentation* hingegen umfasst alle Aufzeichnungen, die lediglich in digitaler Form vorliegen. Als Beispiel sei hier eine Excel-Tabelle angeführt, die auf einem USB-Stick oder ähnlichem gesichert ist. Ein Ausdruck derselben würde jedoch zur *analogen Dokumentation* zählen.

Der Begriff *Dokumentation* dient als Überbegriff sowohl der digitalen, als auch der analogen und vereint jegliche Informationen, die auf einer Ausgrabung aufgenommen wurde.

## 2 Datenaufnahme

Die *Datenaufnahme* beschreibt den eigentlichen Vorgang der Datenerhebung, dessen Resultat von mehreren Faktoren abhängt. Bereits geographische und natürliche Gegebenheiten beeinflussen die Menge, die Qualität und auch die Form, in der die Daten nach der Aufnahme vorliegen. Und auch die Vorgehensweise trägt ihren Teil hierzu bei. Den größten Einfluss haben jedoch die zum Einsatz kommenden Methoden, angefangen bei den konventionellen, rein mechanischen Techniken unter Zuhilfenahme von Zollstöcken, Maßbändern, bis hin zur modernen Digitaltechnik, für die der 3D-Scan derzeit wohl den Höhepunkt darstellt. Die digitale Dokumentation muss einen gemeinsamen Nenner, oder besser gesagt eine gemeinsame Plattform für die verschiedenen Datenformen darstellen und die unterschiedlichen Datenmodelle, die die Aufnahmeergebnisse formen, zusammenbringen.

Grundsätzlich kann man sagen, dass die eigentliche Datenmenge, die eine aufzunehmende Grabungssituation liefert, schier unendlich ist, da die vorhandenen Strukturen, Objekte und Eigenschaften fast beliebig hoch auflösbar sind. Als Beispiel kann hier ein Grubenbefund angeführt werden: Die Befundsituation besteht neben dem eigentlichen Grubenbefund auch aus unterschiedlichen Relationen, die unter anderem die Beziehung der Grube zu den umliegenden Schichten beschreiben. Ein bekanntest Datenmodell, das die Aufnahme diese Relationen ermöglicht, wäre die *Harris-matrix*. Befund und Schichten bestehen aus Erdmaterial, das bestimmte Eigenschaften hat, die als Daten aufgenommen werden können, wie beispielsweise die Konsistenz oder der Sandanteil des Materials und dessen Körnung. Durch die Laboranalyse von Bodenproben kann die Auflösung der Daten, die dieses Material liefert, noch weiter erhöht werden. Rein theoretisch könnte jedes einzelne Sandkorn, jedes winzigste Partikel in seine elementarsten Bestandteile zerlegt und somit die Datenauflösung weiter verfeinert werden, bis hin zu den chemischen Elementen, aus denen diese sich zusammensetzen, wobei die Zusammensetzung selbstverständlich ebenfalls als Relation festgehalten werden kann.

In Anbetracht dessen, dass das eben beschriebene nur ein kleiner Zweig der gesamten Datenstruktur ist, wird schnell klar, dass eine allumfassende Datenaufnahme nicht nur so gut wie unmöglich ist, sondern auch nicht sinnvoll wäre. Eine steigende Auflösung bedeutet eine exponentiell wachsende Datenmenge, die jedoch im gleichen Maße an Aussagekraft, die sie für die unterschiedlichen Forschungsdisziplinen liefert, verlieren und den Mehrwert so mindern kann. Daher wäre es wichtig, zunächst ein die verschiedenen Fachrichtungen berücksichtigendes, gut definiertes Datenmodell zu haben, durch das die Auflösung beschränkt wird und das natürlich in Ausnahmefällen erweitert oder aber auch verkleinert werden können muss.

Nach der ersten Betrachtung scheint ein solches Datenmodell zwar gut strukturiert zu sein, allerdings steigt mit zunehmender Tiefe die Komplexität. Die verschiedensten Grabungssituationen, die sich nicht nur aufgrund der geographischen Lage grundsätzlich unterscheiden, sondern auch durch unterschiedliche Vorgehensweisen geprägt sind, erlauben es allerdings nicht, ein allgemeingültiges Modell für die Aufnahme zu erstellen. Vielmehr es ist erforderlich, sich im Vorfeld eines jeden Schritts Gedanken darüber zu machen, welche Daten man überhaupt erhalten möchte, also welches Datenmodell für eine spätere Nutzung sinnvoll erscheint. Es liegt in der Natur der Archäologie, dass immer wieder unvorhersehbare Überraschungen ans Tageslicht kommen, auf die entsprechend reagiert werden muss und die den Einsatz unterschiedlicher Aufnahmemethoden notwendig machen. Diesen Methoden liegen solche Modelle zu Grunde, durch die auch die Menge und die Auflösung der Daten definiert sind.

### 2.1 Ausgangssituation auf Ausgrabungen

Um mit der Aufnahme der Daten auf einer Ausgrabung beginnen zu können, sollte man sich erst einen Überblick verschaffen, welche Informationen überhaupt zur Verfügung stehen und welche Möglichkeiten und Methoden es gibt, diese aufzunehmen. Zwar gibt es gewisse Grundregeln, die als Richtlinien für eine im archäologischen Sinne erfolgreiche Untersuchung einer Situation gelten, da sich allerdings nicht voraussagen lässt, was beim Grabungsvorgang zu Tage kommt, muss die Vorgehensweise nicht selten an die neuen Gegebenheiten angepasst werden.

Nicht jede Methode ist für jede auf einer Grabung vorgefundene Situation geeignet und auch wenn es teilweise verschiedene Möglichkeiten gibt, um auf ein identisches Ergebnis zu kommen, ist deren Einsatz nicht in gleichem Maße sinnvoll: Große, profilierte Mauerzüge lassen sich hervorragend mit einem Laserscanner aufnehmen, doch kann dies auch - zumindest bis zu einem gewissen Genauigkeitsgrad - mit der orthogonalen Methode und dem Einsatz von Maßbändern bewerkstelligt werden, was jedoch sehr zeitintensiv wäre, sobald die Fläche eine bestimmte Größe erreicht. Auf der anderen Seite ist die Aufnahme eines annähernd ebenen Planums einer Vorgeschichtsgrabung mittels Laserscanner zwar problemlos möglich, der daraus resultierende Mehrwert gegenüber einer händischen Vermessung muss allerdings in Frage gestellt werden.

Die Grundvoraussetzung für den Einsatz von Geräten und Werkzeugen ist deren Verfügbarkeit: Eine Grabung, die nicht auf einen Laserscanner zurückgreifen kann, wird auch keine

Scans durchführen können. So trivial diese Aussage auch klingt, muss man sie sich doch vor Augen halten und mögliche Alternativen kennen, um die vorliegenden Daten bestmöglich in Information zu überführen.

Weitere Faktoren sind die natürlichen Aspekte des Areals: Landschaft, Bodenbeschaffenheit oder Höhenlage, aber auch das vorherrschende Wetter und die Witterung machen unter Umständen manche Aufnahmetechniken nicht oder nur schwer einsetzbar. Unwegsames Terrain und eine abgelegene Grabungsstätte können Gründe dafür sein, auf schwerere Gerätschaften wie einen Stromgenerator verzichten zu müssen. Sofern die elektronischen Aufnahmegeräte nicht akku- oder batteriebetrieben sind, können diese nicht eingesetzt werden. Und selbst in diesem Fall wird der Dauerbetrieb nur durch etliche Reserveakkus möglich sein. Des weiteren können direkte Sonneneinstrahlung, Luftdruck oder Nebel den Gebrauch technischer Geräte einschränken.

Ein weiterer Aspekt, der nicht nur Ausgangssituation der Aufnahme sondern auch das Endergebnis sichtlich beeinflusst, ist die Methode, nach der die Ausgrabung durchgeführt wird<sup>1</sup>. Zum einen wäre da die klassische Abstichgrabung<sup>2</sup>, bei der das Planum Schritt für Schritt um eine gewisse Höhendifferenz tiefer gelegt wird, zum anderen die Schichtengrabung<sup>3</sup>, die sich an die erkannten Befundschichten hält. Bei letzterer Methode werden die natürlichen Schichten nach und nach abgetragen. Ohne auf die Vor- und Nachteile der jeweiligen Methode einzugehen, sei angemerkt, dass im Falle der Negativgrabung der Ausgräber bereits seine Interpretation der Befundsituation einfließen lässt, da die Befundgrenzen von ihm, bzw. dem Grabungs- oder Schnittleiter definiert werden. Diese Interpretation findet bei der Abstichgrabung zwar auch statt, jedoch erst beim Anfertigen der Zeichnung, also in einem späteren Abschnitt des Grabungsvorgangs, der in dieser Arbeit bereits als *Datenverarbeitung* gewertet wird. Das Ergebnis der analogen Dokumentation sind allerdings in beiden Fällen zweidimensionale Zeichnungen von Plana und Profilen. Die Authentizität bei der Abstichgrabung ist höher, da die angelegten Plana idealisierte, ebene Flächen auf einer bestimmten Höhe darstellen ohne bereits beim Freilegen eine Aussage über den Befundverlauf zu treffen. Welche Methode angewandt wird, kann durch die zuständigen Behörde reglementiert sein, aber sie obliegt auch dem Ermessensspielraum der Grabungsleitung und allem voran der Art der Hinterlassenschaften des Kulturkreises, in dessen Kontext man sich bewegt.

---

<sup>1</sup> siehe Gersbach et al. 1998, 33ff

<sup>2</sup> Gersbach et al. 1998, 29ff

<sup>3</sup> Gersbach et al. 1998, 32ff

Zumindest in Deutschland tritt zusätzlich noch die Frage auf, ob im Bundesland, in dem sich das Areal befindet, das Verursacherprinzip greift. Dies hat entscheidenden Einfluss auf zwei weitere, äußerst wichtige Faktoren, die im direkten Zusammenhang miteinander stehen: Die Zeit und die finanziellen Mittel, die für die Untersuchung der Fläche zur Verfügung stehen. Von diesen ist abhängig, wie die Grabung vonstatten geht, wie intensiv die Untersuchung durchgeführt werden kann und wie Art und Menge der Daten ausfallen.

Die Archäologie ist eine zerstörende Wissenschaft: Bodendenkmäler, die teilweise seit Jahrtausenden unter der Erde verborgen und dadurch konserviert waren, gehen durch eine wissenschaftliche Untersuchung oftmals unweigerlich verloren. Diese Zerstörung wird natürlich nicht vorsätzlich begangen, sondern ist der Tatsache geschuldet, dass anstehende, bautechnische Eingriffe in den Boden eine Rettung der eventuell freigelegten archäologischen Funde und Befunde vonnöten macht. „Archäologische Ausgrabungen werden nur dann durchgeführt, wenn akute Gefährdung oder unabwendbare Zerstörung eines archäologischen Kulturdenkmals drohen. [...] Im Gegensatz zu einer schriftlichen Urkunde [...] werden bei der Grabung die archäologischen Zeugnisse der Befundsituation [...] endgültig beseitigt“<sup>4</sup>. Das Gros der durchgeführten Ausgrabungen fällt zumindest in Deutschland in den Bereich der Rettungs- oder Notgrabung.

Die Aufnahme der Daten und die Sicherung der Informationen, die aus dem zu untersuchenden Areal gewonnen werden können, müssen im Falle einer Notgrabung unter großem Zeitdruck durchgeführt werden. Nicht selten ist die Grabungsleitung dadurch gezwungen, den Umfang der angestellten Untersuchungen und Dokumentation auf das Nötigste zu beschränken, selbst wenn aus wissenschaftlicher Sicht Mehrarbeit durchaus Sinn ergeben würde. Oftmals ergeben sich bei einer erst Jahre später erfolgenden Auswertung und Bearbeitung der Grabung Fragen, die durch den punktuellen Einsatz von weiterführenden Untersuchungs- und Aufnahmemethoden bereits im Feld zumindest ansatzweise hätten geklärt werden können. Die aufgrund des engen Zeitrahmens eingegangenen Kompromisse haben jedoch auch einen im Ansatz positiven Nebeneffekt: Es werde vorwiegend Daten aufgenommen, die eine hohe Aussagekraft und somit einen großen Informationsgehalt haben. Warum dies als positiver Aspekt angeführt werden kann, darauf wird im Verlauf dieser Arbeit noch eingegangen.

Eine etwas andere Herangehensweise ist bei reinen Forschungsgrabungen gegeben, da die für die Untersuchung zur Verfügung stehende Zeit nicht von anstehenden Baumaßnahmen abhängt. Ganz auszuschließen ist dies jedoch nicht, und so gibt es auch Not-

---

<sup>4</sup> Gloser 2000, 57

und Forschungsgrabungs-Hybride. Der Fokus der Datenerhebung liegt hier auf den für die Forschung relevanten Informationen. Die Vorgehensweise unterscheidet sich zwar nicht grundlegend von der bei einer Notgrabung, da sich der grundsätzliche Gedanke, das Vorgefundene zu dokumentieren und für die Nachwelt zu bewahren, natürlich nicht ändert, im Detail wird dadurch jedoch das Ergebnis schon bei der Aufnahme beeinflusst. Betrachtet man den zeitlichen Rahmen einer Forschungsgrabung, so erscheint hier zusätzlich der Vorteil, dass bereits in der Vorbereitung auf die eigentliche Ausgrabung diverse Untersuchungen wie Survey oder geophysikalische Prospektionsmethoden - beispielsweise Georadar-Aufnahmen des Areals - ohne Zeitdruck durchgeführt werden können. Das Sammeln und Dokumentieren von Informationen beginnt schon vor dem Freilegen der Befunde und diese Daten liefern einen ersten Hinweis darauf, was während des eigentlichen Grabungsvorgangs zu Tage kommen könnte. Ausgehend davon können erste Vorbereitungen und Entscheidungen zur Vorgehensweise getroffen werden.

Auch bei einer Lehrgrabung spielt der Faktor Zeit eine eher untergeordnete Rolle. Zwar muss hier auch vorausschauend gearbeitet werden, da diese in den seltensten Fällen ganzjährig offen steht und sie somit auch einem zeitlichen Rahmen unterliegt, jedoch steht die Ausbildung der angehenden Archäologen und Grabungstechnikern an vorderster Stelle. Die unterschiedlichen Methoden, Arbeitsschritte und der Umgang mit den Geräten werden in der Praxis erlernt, weshalb hier nicht die gleiche Arbeitsgeschwindigkeit erwartet werden kann wie bei einer wissenschaftlichen Grabung. Die Auswahl des Areals fällt in der Regel auf eine bekannte Fundstelle, von der keine für die Forschung allzu relevanten Ergebnisse erwartet werden. Es gilt allerdings auch hier der bereits oben erwähnte Grundsatz des Bewahrens. Von dieser Art der Grabung ist eine große Datenmenge zu erwarten, zumindest von den Methoden, die zur Verfügung stehen. Da unter Umständen die selben Schritte von unterschiedlichen Personen wiederholt werden, können Redundanzen in den Datensätzen auftreten.

Die Aufzählung der Grabungsarten soll verdeutlichen, dass bereits vor Beginn des eigentlichen Grabungsvorgangs Faktoren existieren, die Auswirkung auf Art, Güte und Menge der Daten haben, die am Ende zur Verfügung stehen.

Der letzte Aspekt, der an dieser Stelle angesprochen werden soll, betrifft das Jahr, in dem die Untersuchung durchgeführt wurde. Zum einen haben sich im Laufe der knapp 200 Jahre, die die Archäologie als Wissenschaft nun alt ist, und der Jahrhunderte davor, in denen vorwiegend versucht wurde, die Bodendenkmäler mit den Ereignissen der Bibel zu synchronisieren, die Erwartungen und Ziele einer Grabung grundlegend geändert, und

zum anderen führten die gewonnenen Erkenntnisse und der technische Fortschritt zu einer Verbesserung der Methoden und Werkzeuge. Glaubte man „im Mittelalter und noch weit in die Neuzeit hinein“, dass die „vorgeschichtlichen Urnen mit den verbrannten Gebeinen der Toten [...] Naturprodukte“ wären, die „in der Erde gewachsen seien“<sup>5</sup> und es sogar Empfehlungen gab, wann man diese am besten „ernten“ könne, so wird man sich zu dieser Zeit vermutlich keine Gedanken um die Lage der Artefakte oder gar deren Fundkontext gemacht haben. Mit der Entwicklung der Archäologie als Wissenschaft Anfang des 19. Jahrhunderts mussten nun erst Methoden zur Dokumentation entwickelt werden. Als Beispiel sei hier auf die Dokumentation des wohlbekannten Gräberfelds von Hallstatt angeführt. In den 17 Jahren von 1846 bis 1863 ergrub der Bergwerksbeamte Johann Georg Ramsauer fast 1000 Gräber des eponymen Fundorts und erstellte eine für die damalige Zeit hervorragende Grabungsdokumentation. Unterstützt wurde er hierbei von Isidor Engl, der Aquarelle der einzelnen Gräber anfertigte. Diese Aquarelle, viele bestehend aus Aufsicht und einer Seitansicht, sind eine wichtige Quelle für die moderne Forschung und geben gute Hinweise auf Ausrichtung und Position der Funde, wobei man ihnen allerdings nicht die etwas romantisierende Darstellung der Situation absprechen kann. Dadurch ergibt sich zwar eine Übersicht der Grabsituation, jedoch kann man bei der Gegenüberstellung von Seitansicht und Aufsicht erkennen, dass Ausrichtung und Positionierung der Fundstücke sich dort oftmals widersprechen<sup>6</sup>. Aus heutiger Sicht wäre dies natürlich undenkbar, für die damalige Zeit jedoch an Dokumentation und somit an Datenausbeute vollkommen ausreichend. Betrachtet man nun einen Plan der sogenannten „Steinbewahrerhütte“ in Hallstatt aus der Ausgrabungskampagne 1886 unter Joseph Szombathy<sup>7</sup> im Vergleich mit einem modernen digitalen Grabungsplan<sup>8</sup> der selben Situation, so erkennt man sofort, dass in letzterem den Steinsetzungen der Wände mehr Aufmerksamkeit zu Teil wurde und der allgemeine Detailgrad immens gestiegen ist. Dieser Plan, der Ergebnis einer Zusammenführung der Daten von Handzeichnungen historischer und moderner Kampagnen sowie der digitalen Dokumentation ist, liefert ein ausgezeichnetes Beispiel dafür, wie unterschiedlich Daten und daraus resultierende Informationen der gleichen Ausgangssituation ausfallen können und wie man Daten aus historischen Aufzeichnungen mithilfe moderner, digitaler Mittel mit den aktuellen Daten vereinen und dadurch weitere Erkenntnisse aus den Altgrabungen gewinnen kann.

---

<sup>5</sup> Eggers 1974, 25

<sup>6</sup> siehe Tafel 2: Die Zeichnungen von Grab 912 zeigen die Situla im rechten Bildbereich an zwei unterschiedlichen Positionen und mit verschiedener Ausrichtung

<sup>7</sup> Tafel 3

<sup>8</sup> Tafel 4

### 2.2 Unterteilung der Aufnahmemethoden

Im folgenden Abschnitt soll ausgehend von den Methoden versucht werden, die gewonnenen Daten mit Blick auf ihre grundlegenden Eigenschaften zu unterteilen. Hierbei ist die Frage, ob die Aufnahmen digital oder analog erfolgen, ohne Relevanz, da dies erst in einem späteren Schritt, in dem Transport und Aufbewahrung der Daten und Informationen abgehandelt wird, zu tragen kommt. Die Unterscheidung soll sich vielmehr direkt an den auf Ausgrabungen vorliegenden Ausgangsdaten und die Methodik der Aufnahmeprozesse orientieren. Es ergeben sich vier abstrakte Bereiche.

#### 2.2.1 Abbildende Aufnahmen

Der erste und umfangreichste Teil, die *abbildenden Aufnahmen*, beinhaltet sämtliche Techniken, die als Ergebnis ein visuelles Abbild des zu untersuchenden Areals liefern. Hierzu gehören sowohl zweidimensionale Abbilder, wie Zeichnungen oder die klassische Fotografie, als auch deren dreidimensionales Pendant, für die stellvertretend die Photogrammetrie und der Laserscan genannt seien. Alle diese Methoden stützen sich auf vermessungstechnische Daten, durch die diese Informationen fest im Grabungsraster verankert sind. Vorausschauend auf die Datenqualität und -menge, die die jeweilige Methode letztendlich produzieren, kann eine weitere Unterteilung in zwei Bereiche vorgenommen werden:

##### 2.2.1.1 selektive Aufnahmen

Zum einen sind dies *selektive Aufnahmen*, bei deren Einsatz die Daten bereits auf der Grabung gefiltert und zumindest rudimentär mit Relationen versehen werden. Der Anwender interagiert während des Aufnahmeprozesses ständig mit den Geräten, entscheidet selbst über die Wichtigkeit der Daten und bestimmt, welche aufgenommen werden. Durch diese Interaktion verteilen sich die Daten, sowohl in Bezug auf die Menge, als auch auf den Detailgrad, unregelmäßig über die zu untersuchende Situation. In der Regel findet zudem eine erste Auswertung in Form von Verknüpfungen der einzelnen Datensätze statt. So werden durch die Interpretation einer Situation Befunde als solche definiert und ihre Information unter anderem in Form von Koordinaten, die den Verlauf ihrer Grenze beschreiben, aufgenommen. Diese Grenze ist ihrerseits durch die Relationen der einzelnen Koordinaten, im einfachsten Falle durch deren Reihenfolge, dokumentiert.



### 2.2.1.2 Rasteraufnahmen

Zum anderen sollen unter dem Begriff *Rasteraufnahmen* die Methoden zusammengefasst werden, die ihre Datensätze einem fest definierten Raster folgend aufnehmen, ohne deren Wichtigkeit und Aussagekraft für die Archäologie zu bewerten. Die Daten sind hier regelmäßig über die gesamte Situation verteilt, ohne dass bereits zusätzliche Verknüpfungen von einzelnen Elementen festgehalten werden. Der Unterschied zu den *selektiven Daten* lässt sich gut an der auf Tafel 17 stark vereinfacht dargestellten Situation erklären: Das obere Schema beschreibt eine Datenaufnahme im konventionellen Sinne, also eine selektive Datenaufnahme, das untere eine Aufnahme von Rasterdaten. Jedem auf die konventionelle Methode akquirierten Punkt liegt eine im Vorfeld angestellte Überlegung, die genau diese Koordinate als für die Dokumentation relevant definiert, zu Grunde. Man erhält nur die Daten, die als für die Dokumentation wichtig erkannt wurden. Diese reichen aus, um das abgebildete Modell zu beschreiben. Das Ergebnis eines 3D-Scans hingegen besteht aus einer großen Menge an Punkten, die einem Raster mit festen Abständen folgend aufgenommen werden: Der Informationsgehalt ist im Vergleich zu den selektiven Methoden geringer, die Menge und Dichte der Daten jedoch deutlich höher. Um eine vergleichbare Aussagekraft zu erhalten, ist eine spätere Nachbearbeitung vonnöten.

### 2.2.2 Physische Aufnahmen

Die dritte Gattung soll als *physische Methoden* bezeichnet werden, wozu die Bergung von Funden oder die Entnahme von Bodenproben zählen. Es handelt sich hierbei nicht um Datenaufnahme im klassischen Sinne der Informatik, jedoch decken die Begriffe *Daten* und *Information*, wie sie im Abschnitt Hinweise zur Terminologie beschrieben werden, diese Gattung durchaus ab: Jeder Fund hat Eigenschaften, die sich von denen, die über die *abbildenden Methoden* gewonnenen werden können, drastisch unterscheiden. Objektinformationen wie Aussagen über Material, den Verzierungsstil einer Keramik, oder die Funktionsweise einer Fibel sind bereits vorhanden, werden bei der Bergung, also dem physischen Entfernen aus einer Situation, nicht zwangsweise dokumentiert. Erst nach weiteren Untersuchungen z.B. im Labor, die in diesem Sinne einer Datenverarbeitung entspricht, werden weiterführende Daten erhoben. Analog zu den Funden werden bei Bodenproben oder auch Blockbergungen sprichwörtlich Teile der Situation eingefangen. Die spätere Auswertung der Proben kann wichtige Hinweise zur Steigerung der Informationsgüte der gesamten Grabung liefern, die allerdings nur durch die während der Ausgrabung hergestellten Relationen, konkret durch die Position der Probe, Aussagekraft erhalten.

### 2.2.3 Listen und Tabellen

Wurden früher Listen und Tabellen ausschließlich in Papierform geführt, werden diese heutzutage vorwiegend digital verwaltet. Die EDV bietet hier naturgemäß große Vorteile, da sie es in Sekundenbruchteilen ermöglicht, diese zu durchsuchen, zu sortieren oder Teile von ihnen zu kopieren. Tabellen bilden das Grundgerüst einer jeden Datenbank. Der Inhalt, also die Struktur einer Tabelle, variiert je nach Zweck derselben. Fototabellen können neben den Informationen zum abgebildeten Objekt oder Angaben zur eingesetzten Technik wie beispielsweise Angaben zur Kamera, dem Objektiv oder dem verwendeten Film enthalten, aber auch den Namen des Fotografen aufnehmen. Listen und Tabellen werden vorwiegend dazu eingesetzt, um die verschiedenen, auf der Grabung anfallenden Datenformen miteinander zu verknüpfen: Funde können so beispielsweise mit Befunden und Vermessungsdaten verbunden werden. Des weiteren lässt sich über diese die Vollständigkeit, zum Beispiel die der Funde überprüfen. Neben Fund-, Befund- und Fotolisten sollte auf der Ausgrabung zudem eine Zeichnungsliste geführt werden, zum einen um ebenfalls die Vollständigkeit überprüfen zu können, zum anderen um bei der Bearbeitung eine Übersicht zu haben und über die Plannummern einen schnelleren Zugriff zu ermöglichen. Auf die Vorgehensweise beim Anlegen von Listen soll jedoch nicht eingegangen werden.

### 2.2.4 Beschreibende Daten

Den vierten Teil bilden alle Informationen, die zusätzlich zu den in den oben genannten Bereiche erhobenen Daten anfallen: die *beschreibenden Daten*. Mit den klassischen Mitteln der Informatik lassen sich diese unter Umständen nur schwer dokumentieren, über semantische Methoden allerdings können sie einen hohen Informationsgehalt liefern. Es handelt sich hierbei häufig um Informationen in Textform, die bereits aufgenommene Daten ergänzen: Eine während der Ausgrabung festgestellte Befundsituation wird zunächst mit geodätischen und fotografischen Mitteln aufgezeichnet und dadurch ein Abbild hiervon erzeugt. Weitere Informationen hierzu werden im Anschluss in ausformulierter Form als Befundbeschreibungen festgehalten. Hier lassen sich *Daten* und *Information* sehr gut unterscheiden: Der reine Text entspricht einem Datum und der Schreiber liefert über die Sprache mit seiner Art der Formulierung den Kontext, der diesen Text zur Information werden lässt.

### 2.3 Das Grabungsraster als Basis

Gibt es einen gemeinsamen Nenner für die unterschiedlichen Datenstrukturen und -modelle, die durch die eingesetzten Methoden geliefert werden? Gibt es ein elementares Modell, das die vorgestellten, unterschiedlichen Datenstrukturen zusammenhält? Die Antwort hierauf wird überraschend offensichtlich, sobald man sich bewusst macht, dass der rudimentärste und eponyme Arbeitsschritt einer Ausgrabung das Graben an sich ist. Sämtliche Schritte, Methoden und Auswertungen können auf das Abtragen von Erdschichten und die Frage, wo dies getan wurde, zurückgeführt werden. Das Datenmodell hierfür wird durch ein anderes Fachgebiet bereitgestellt: die Geodäsie. Die Vermessungskunde liefert das Grundgerüst für die Dokumentation einer jeden Ausgrabung, durch das alle zu Tage gebrachten Informationen, seien es nun Funde, Befunde, Beschreibungen oder auch entnommene Proben, miteinander in Beziehung gebracht werden können, was als Grundstein für die wissenschaftliche Untersuchung anzusehen ist. An welcher Stelle wurden welche Erkenntnisse gewonnen und wie sind diese mit anderen verbunden? Funde verlieren ohne die Fundumstände, also Position und Korrelation mit der Umgebung, einen Großteil ihrer wissenschaftlichen Aussagekraft. Durch die Vermessungskunde ist die vorgefundene Situation bestmöglich dokumentiert und wird dadurch rekonstruierbar. Das geodätische Datenmodell, im engsten Sinne aus einem Koordinatensystem und Koordinaten bestehend, kann folglich als der gesuchte gemeinsame Nenner bezeichnet werden<sup>9</sup>, durch den die gesamte Dokumentation einer Ausgrabung und die darin enthaltenen Daten, sowohl die analogen als auch digitalen, überhaupt erst miteinander verknüpft werden können.

Dass zu den Anfängen der Archäologie als Wissenschaft nicht schlagartig ein Standard für die Vermessung, oder besser Einmessung der Funde und Befunde bestand, liegt auf der Hand. Wie auch der wissenschaftliche Charakter musste sich die Technik hierzu zunächst entwickeln. Ein wichtiger Schritt für die archäologische Forschung war die Entdeckung der Stratigraphischen Methode<sup>10</sup> zur relativen Datierung. Durch weiterführende Verzahnungen mit anderen Datierungshinweisen besteht die Möglichkeit, Funde und Befunde auch mit absoluten Zeitangaben versehen, sie also in die moderne Zeitrechnung<sup>11</sup> einhängen zu können. Ein Beispiel wäre ein Münzfund in einer Schicht, der unter Zuhilfenahme der Numismatik den *terminus post quem* für diese Schicht liefert. Zwar ermöglicht dies keine

---

<sup>9</sup> Dally – Komp 2011b, 35: „Nahezu alle auf einer Ausgrabung gewonnenen Informationen haben einen Raumbezug.“

<sup>10</sup> siehe Eggert 2001, 162-179

<sup>11</sup> Bei der modernen Zeitrechnung handelt es sich eigentlich ebenfalls um eine relative Chronologie, die sich - zumindest in den christlichen Ländern - an Christi Geburt orientiert.

auf das Jahr genaue Datierung, wohl aber eine absolutchronologische Einordnung. Sehr gut zu erklären ist dies mit Blick auf die Dendrochronologie: Die Reihenfolge der einzelnen Jahresringe eines Baumstammes beschreiben eine in sich geschlossene, relative Chronologie. Über den Vergleich von Ausschnitten aus dieser Reihenfolge mit denen eines anderen Baumstammes werden mehrere relative Chronologien miteinander verzahnt. Die bereits aus der Geologie bekannte Stratigraphische Methode zur zeitlichen Einordnung von Gestein- und Erdschichten entwickelte sich im 19. Jahrhundert auch für die Archäologie zu einem wichtigen Werkzeug für die Datierung<sup>12</sup> und seit dem stellt die Dokumentation der exakten Lage von Befunden und Funden und somit auch deren Beziehung zueinander die Basis für die Auswertung einer Grabung dar.

### 2.3.1 Einrichten des Grabungsrasters

Um eine Aufnahme überhaupt erst möglich zu machen, müssen die Koordinaten eines Punktes erfassbar sein, also einen Bezug zu einem Koordinatensystem haben. Hierbei handelt es sich um ein rechtwinkliges, meist eigens für die Grabung angelegtes System, das über Festpunkte, deren im Gauß-Krüger-Koordinaten bekannt sind, eingehängt werden kann. Dadurch wird für jeden auf der Grabung aufgenommene Punkt die Umrechnung in Welt-Koordinaten ermöglicht.

Moderne geodätische Geräte nehmen hier dem Menschen einen Großteil der Arbeit ab und liefern bereits wohldefinierte Datensätze, die digital weiterverarbeitet werden können. Trotzdem sollte die Theorie, also die mathematischen Grundlagen, die diese Geräte intern umsetzen, nicht vernachlässigt werden, da man - wie bereits erwähnt - nicht immer auf diese zurückgreifen kann. Obwohl das Einrichten eines Quadrantenrasters, bei dem das gesamte Grabungsareal in Quadranten gleicher Größe eingeteilt wird, nicht immer erforderlich oder möglich ist, so basiert dennoch jedes Bezugssystem der Datenaufnahme auf einem solchen Raster, genauer gesagt auf einem metrischen Koordinatensystem<sup>13</sup>. Deshalb soll nun erläutert werden, mit welchen analogen Möglichkeiten ein solches eingerichtet und anschließend die Vermessungsdaten erhoben werden können, da sich anhand dieser Vorgehensweise am besten das Datenmodell für die Dokumentation ableiten lässt.

Zum Einrichten eines lokalen, bzw. örtlichen Grabungskoordinatensystems<sup>14</sup> wird zunächst mindestens eine dauerhafte Vermarkung, ein Bezugspunkt benötigt, der als Referenzhöhe für

---

<sup>12</sup> Eggert 2001, 166ff

<sup>13</sup> Abhängig von Jahr und Land kann es sich auch um ein Koordinatensystem in einer anderen Maßeinheit handeln.

<sup>14</sup> Tafel 7

das Nivellement dient. Durch diesen Bezug können die lokalen Höhenangaben auf Höhe über Normalnull<sup>15</sup> umgerechnet werden. Unter Umständen, z.B. bei einer längeren Kampagne oder der Untersuchung eines großflächigen Areals, sind zusätzliche Vermarkungspunkte nützlich und sinnvoll. Diese Punkte müssen gegen äußere Einwirkungen gesichert sein und deren absolute Höhe regelmäßig überprüft werden. Bei einem unbemerkten Fehler würden ansonsten alle danach aufgenommenen Punkte eine Abweichung vom tatsächlichen Wert aufweisen und es somit den Datensatz verfälschen<sup>17</sup>.

Das für das Anlegen des Rasters, das einem Ausschnitt des Koordinatensystem entspricht, wird zunächst eine erste Grundlinie gezogen. Diese muss nicht zwangsweise mit der x- oder der y-Achse des Weltkoordinatensystems übereinstimmen, sollte aber möglichst parallel zu einer der beiden sein. Handelt es sich um die Parallelverschiebung der x-Achse, so wird dieser Grundlinie ein fester y-Wert, im Falle der y-Achse, ein x-Wert zugewiesen. Um das Auftreten von negativen Koordinaten zu vermeiden, sollte die voraussichtliche Größe des Grabungsareals beachtet und dieser Wert hoch genug gewählt werden.

Für die Konstruktion der zweiten Achse ist rein theoretisch ein einzelnes Maßband völlig ausreichend: Zunächst wird an der eben angelegten Grundlinie jeweils die gewünschte Seitenlänge der Quadranten markiert. Über den Bogenschlag mit dem Maßband lässt sich auf diesem Punkt die jeweilige Mittelsenkrechte durch die soeben festgelegten Rasterpunkte konstruieren<sup>18</sup>. Wenn nun an dieser ebenfalls die Seitenlänge abgetragen wird, ist das Raster komplett und bereit zur Punktaufnahme.

Der Gebrauch des Satzes des Pythagoras kann die Konstruktion der rechten Winkel vereinfachen<sup>19</sup>. Hierbei kommen drei Maßbänder zum Einsatz. Der Satz besagt:

$$a^2 + b^2 = c^2$$

Setzt man nun der Einfachheit halber  $a = 3$ ,  $b = 4$  und  $c = 5$ , erreicht man, dass die Gleichung gelöst ist:

$$3^2 + 4^2 = 5^2$$

---

<sup>15</sup> *Normalnull* bezeichnet den „mittleren Wasserstand der Nordsee am Pegel Amsterdam“<sup>16</sup>. Hauptbezugspunkt ist der *Normalhöhenpunkt* in Berlin, von dem ein dichtes Netz von Höhenfestpunkten über ganz Deutschland ausgeht.

<sup>17</sup> Eine nachträgliche Korrektur ist möglich, allerdings nur, wenn der Zeitpunkt, ab dem der Fehler auftritt, rekonstruiert werden kann.

<sup>18</sup> Tafel 5

<sup>19</sup> Sigl – Vetterling 2012, 18ff

$$9 + 16 = 25$$

Wendet man nun diese Werte auf die Maßbänder an, lässt sich der rechte Winkel konstruieren.

Andere Möglichkeiten, das Raster abzustecken, bedienen sich der direkten Ablesung des Winkels über entsprechende Geräte, wobei bei den analogen Lösungen beachtet werden sollte, dass diese recht ungenau sind. Beispielsweise verfügen Nivelliergeräte meist über eine Gradskala, die aber aufgrund deren geringen Durchmessers eine relativ kleine Auflösung besitzen.

Erschwert wird das Anlegen eines Grabungsrasters, sobald das zu untersuchende Areal unwegsam wird. Bei unebenem Gelände muss mit einem Lot gearbeitet werden, um die Rasterpunkte korrekt auf den Boden projizieren zu können.

Elektronische Tachymeter<sup>20</sup> beschleunigen die Einrichtung eines Grabungsrasters nicht unbedingt, jedoch haben diese den Vorteil, dass sämtliche Daten im Anschluss bereits in digitaler Form und die aufgenommenen Punkte bereits in 3D-Koordinaten des Grabungssystems vorliegen. Zudem ist das Einhängen der Grabung in das Gauß-Krüger-Koordinatensystem direkt möglich und die Punkte, die das lokale Koordinatensystem aufspannen sollen, können sehr einfach so gewählt werden, dass diese mit glatten Gauß-Krüger-Koordinaten übereinstimmen. Für die Übersichtlichkeit ist dies ein großer Gewinn.

### 2.3.2 Informationsaufnahme und Dokumentation auf Basis von Vermessungsdaten

Damit ein aufzunehmendes Objekt<sup>21</sup> in seinem auf der Grabung vorgefundenen, physischen Kontext festgehalten werden kann, wird dieses durch eine Anzahl an Punkten beschrieben. Ein lokal aufgespanntes Koordinatensystem ist hierbei ausreichend, um zudem die Relationen der Punkte zueinander zu beschreiben. Mathematisch gesehen beschreibt ein Punkt, der auf einer Ausgrabung aufgenommen wird, ein Vektor in einem kartesischen Koordinatensystem, d.h. eine Parallelverschiebung des Nullpunktes in x-, y- und z-Richtung<sup>22</sup>.

Für sich alleine genommen hat die Ansammlung dieser Punkte keine allzu hohe Aussagekraft. Schon eine einfache Gruppierung einzelner Punkte steigert jedoch den Informationsgehalt - zumindest für die Archäologie - bereits gewaltig, denn eine solche Gruppe entspricht der Abbildung eines Objekts in der Grabungsdokumentation, sowohl in deren digitalen, als

---

<sup>20</sup> auch Totalstation genannt

<sup>21</sup> Der Begriff *Objekt* sei an dieser Stelle ein Sammelbegriff für alles, was im Rahmen der Dokumentation greifbar ist, also nicht nur Funde sondern auch Befunde, Nivellementpunkte usw..

<sup>22</sup> Tafel 8

auch analogen Variante. Ein entscheidender Unterschied bei den Dokumentationsmethoden ist hier jedoch der Detailgrad, respektive die Auflösung, die durch die Menge der Punkte definiert ist. Eine analoge Zeichnung, bei deren Anfertigung zuerst einige wenige Hilfspunkte eingemessen und übertragen werden und diese im Anschluss dann von Hand so verbunden werden, dass die Konturen des abzubildenden Objekt möglichst der natürlichen Form entsprechen, ist diese Auflösung annähernd unbegrenzt, wird allerdings vom gewählten Maßstab beeinflusst. Unregelmäßige Formen sind gut abbildbar und aus dem Endergebnis können von jeder Linie, jeder Kontur beliebig viele Punkte abgelesen werden. Die Einmessung auf dem Feld mittels Tachymeter entspricht dem ersten Arbeitsschritt beim Anfertigen einer Zeichnung: Es werden Hilfspunkte der Kontur aufgenommen. Um nun die Auflösung der analogen Dokumentation zu erreichen, bedarf es der Nachbearbeitung am PC unter Zuhilfenahme anderer Datenquellen, die Informationen über die ursprüngliche Objektform enthalten. Dies passiert in fast allen Fällen erst nach Abschluss der Grabung. Zum Abschlusszeitpunkt ist der Informationsgehalt von Zeichnungen gegenüber der Tachymeteraufnahmen folglich um ein Vielfaches höher.

Die digitalen Koordinaten, liegen in der Regel in 3D vor und besitzen somit sowohl Lage-, als auch Höheninformationen. In der Regel sind die Aufnahmegeräte bereits in das Welt-Koordinatensystem eingehängt und dadurch können die aufgenommenen Punkte des örtlichen Systems direkt in globale Koordinaten umgerechnet werden. Moderne digitale Methoden verfügen zudem alle über die Möglichkeit, die Punkte direkt während der Aufnahme zu gruppieren, um so z.B. verschiedene Pfostenlöcher zu unterscheiden. Hier findet bereits eine rudimentäre Datenverarbeitung statt.<sup>23</sup>

Die Zeichnung ist aufgrund Ihrer Natur ein lediglich zweidimensionales Abbild einer 3D-Situation<sup>24</sup>. Somit liegen auch die meisten Punkte nur in 2D-Koordinaten vor, die sich auf ein weiteres, von Grabungsraster zunächst unabhängiges Koordinatensystem beziehen, das dann auf Millimeterpapier abgebildet werden kann.

Ohne eine Verknüpfung mit dem Grabungsraster ist die zeichnerische Dokumentation allerdings ohne Nutzen. Hierzu sind bereits zwei Einhängpunkte ausreichend, für die sowohl die dreidimensionalen Koordinaten im örtlichen System der Grabung, als auch deren

---

<sup>23</sup> Tafel 6

<sup>24</sup> Mathematisch betrachtet handelt es sich bei einer Zeichnung um eine orthogonale Projektion der 3D-Punkte auf eine in diesem dreidimensionalen Raum aufgespannte Ebene. Am Beispiel einer Planumszeichnung wird dies verständlicher: Ein angelegtes Planum ist nur in den allerseltensten Fällen exakt und an jedem Punkt nivelliert, die Zeichnung stellt allerdings den Idealfall dar. Somit müssen Punkte, die hiervon abweichen, auf diese ideale Ebene projiziert werden. Durch Nivellementpunkte kann die Abweichung dokumentiert werden.

Pendant im Koordinatensystem der Zeichnung dokumentiert sein müssen. Zudem muss bekannt sein, ob es sich bei um ein Planum oder ein Profil handelt, denn erst dadurch wird die Ausrichtung im dreidimensionalen Raum festgelegt. Dies kann jedoch auch über einen dritten Einhängpunkt realisiert werden, da durch drei bekannte Punkte einer Ebene deren Lage im 3D-Raum eindeutig ist.

Man kann zusammenfassend sagen, dass die Struktur der bei der Ausgrabung angefertigten, analogen Dokumentation komplexer ist, als die rein digitale. Alle digital aufgenommenen Punkte sind bereits eindeutig in Weltkoordinaten überführbar und es können je nach Gerät bereits erste datenverarbeitende Schritte erfolgt sein, die weitere Informationen und somit Daten erzeugt haben.

Für die analogen Daten, also die Zeichnungen, ist es schwieriger, ein klares Datenmodell zu finden. Um die Punkte auf den 2D-Plänen in Weltkoordinaten überführen zu können, müssen mehrstufige Verknüpfungen zurückverfolgbar sein: Das Koordinatensystem der Zeichnung ist abhängig von dem der Grabung, dieses wiederum vom Weltsystem. Etwas überraschend ist, dass der Maßstab, in dem die Zeichnung angefertigt wurde, nicht in diesem Datenmodell zu finden ist. Durch die zwei Einhängpunkte ist dieser allerdings überflüssig, da er sich aus dem Abstand dieser beiden Punkte zueinander berechnen lässt. Damit diese Daten beispielsweise in ein 3D-Modell eingefügt werden können, müssen Schritte durchgeführt werden, die im digitalen Fall bereits erledigt wurden.

### 2.4 Einsatz der Aufnahmemethoden

So umfangreich das Einrichten und Einhängen des Koordinatensystems der gesamten Grabung und deren *Untersysteme* in der obigen Diskussion erscheint, umso einfacher ist dies mit nur wenig Übung zu bewerkstelligen. Der Grundstein für die Datenaufnahme ist somit gelegt und der eigentliche Aufnahmeprozess kann beginnen.

Die analogen Methoden<sup>25</sup> der Punktaufnahme bedienen sich einfacher geometrischer, bzw. trigonometrischer Regeln, die bereits durch wenig Übung erlernbar sind. Die minimale Ausrüstung, um diese umzusetzen, besteht aus zwei Zollstöcken oder Maßbändern und ggf. einem Lot, falls der aufzunehmende Bereich große Abweichungen in Form von Mauerresten, größeren Objekten usw. von der idealen Ebene, die gezeichnet wird, aufweist. Mit dieser Ausrüstung lässt sich bereits das sogenannte *Orthogonalverfahren*<sup>26</sup> umsetzen.

---

<sup>25</sup> siehe Eggers 1974, 53-60, 148-159

<sup>26</sup> Sigl – Vetterling 2012, 54



### 2.4.1 Orthogonalverfahren

Wie es der Name des *Orthogonalverfahrens* bereits verrät, werden die Koordinaten durch das konstruieren von rechten Winkeln ermittelt. Bei dem Einmessen in eine Planumszeichnung, auf der man als ersten Schritt die Referenz- oder Einhängpunkte eingetragen sollte, werden die Meterstäbe an die Koordinatenachsen der Zeichnung, bei denen es sich meistens um Parallelverschiebungen der Achsen des Grabungsrasters handelt, angelegt. Der abgelesene x- und y-Wert wird dann auf den Maßstab der Zeichnung umgerechnet und dort eingetragen. Ein *Zeichenraster*<sup>27</sup> bedient sich des gleichen Prinzips wie die Orthogonalmethode. Die in einem quadratischen Holzrahmen eingespannten Schnüre spannen hier ein weiteres, kleines Unter-Koordinatensystem auf, wodurch sich die Werte einfacher ablesen lassen. Hier ist darauf zu achten, dass der Rahmen korrekt ausgerichtet und horizontalisiert ist. Gegebenenfalls muss ebenso mit einem Lot gearbeitet werden.

### 2.4.2 Nivellierung

Um die zum Einhängen benötigte, dritte Koordinate der Punkte berechnen zu können, muss sowohl auf Planums-, als auch für Profilzeichnungen mindestens ein Nivellementpunkt vorhanden sein. Eine einfache und gleichzeitig recht präzise<sup>28</sup> und auch in schwierigem Gelände oder über große Distanzen einsetzbare Methode ist die „Schlauchwaage“<sup>29</sup>, einer hydrostatischen Nivellierungsmethode<sup>30</sup>, die sich das physikalische Gesetz der Schwerkraft zu Nutze macht. Über einen mit Wasser gefüllten Schlauch, kann eine bekannte Höhe, die beispielsweise von einem der Referenzpunkte der Grabung genommen werden kann, übertragen werden - ohne dass eine direkte Sichtverbindung vonnöten ist. Über einen ausgeloteten Meterstab wird die relative Höhe zu diesem Punkt berechnet, über die sich dann wiederum die Höhe über Normalnull berechnen lässt. Für präzise Höhenbestimmungen existieren Schlauchwaagen, die mittels Sensoren Fehlerquellen wie wechselnden Luftdruck oder Temperaturschwankungen ausgleichen können, und Geräte mit analoger oder digitaler Messwertausgabe<sup>31</sup>, die bereits intern die Berechnung des Höhenunterschieds durchführen.

---

<sup>27</sup> Tafel 9

<sup>28</sup> laut Kahmen 1997, 483 erreicht die Schlauchwaage in der einfachsten Ausführung eine „Genauigkeit von 1-3 mm“

<sup>29</sup> Tafel 10

<sup>30</sup> Kahmen 1997, 483-490

<sup>31</sup> Kahmen 1997, 489

Üblicherweise wird auf Grabungen allerdings ein *Nivelliergerät* zur Höhenvermessung eingesetzt<sup>32</sup>. Die Horizontierung dieser Geräte über Dosen- und Röhrenlibelle bedient sich dem gleichen Prinzip, wie es auch Schlauch- oder Wasserwaagen zu Grunde liegt. Auch die Funktionsweise weist viele Parallelen auf, da auch hier mittels Meterstäben oder Messlatten eine Höhe von einem Punkt zu einem anderen übertragen wird und über die Differenz die relative Höhe zu einem Festpunkt errechnet wird.

### 2.4.3 Theodolit und Tachymeter

Einen anderen Weg geht die Vermessung über *Theodoliten* oder *Tachymeter*<sup>33</sup>, die den Horizontal- und Vertikalwinkel vom Standpunkt des Geräts zum gesuchten Punkt, respektive im Falle des Tachymeters auch die Schrägdistanz zu diesem, messen. Über die erhaltenen Werte lässt sich durch das *Polarverfahren*<sup>34</sup> in Bezug auf einen bekannten Punkt, also einer Ausgangsrichtung, die Berechnung der Punktkoordinaten durchführen.

Die elektronischen Tachymeter, auch Totalstationen genannt, führen ihre Berechnungen nach der polaren Methode durch und basieren dementsprechend auch auf den selben, relativ einfachen, mathematischen Grundlagen der Winkel- und Streckenberechnung. Die Genauigkeit ist aufgrund der Distanzmessung, die in jedem modernen Gerät über die Laufzeitmessung<sup>35</sup> eines Laserstrahls funktioniert, sehr hoch. Ein großer Vorteil ist zudem, dass in einem einzigen Arbeitsschritt bereits 3D Koordinaten im Grabungssystem gewonnen werden können.<sup>36</sup>

### 2.4.4 Geräte auf Basis von Triangulation und Trilateration

Weitere Methoden der Koordinatenaufnahme beruhen auf dem Prinzip der *Triangulation* bzw. *Trilateration*. Für die Punktberechnung müssen bei diesen Verfahren zunächst mindestens drei Punkte bekannt sein. Wird bei der Triangulation der gesuchte Punkt *P*

---

<sup>32</sup> Kahmen 1997, 359ff

<sup>33</sup> Kahmen 1997, 492ff

<sup>34</sup> Kahmen 1997, 328ff, siehe auch Kirschfink 2008, 16f

<sup>35</sup> Unter *Laufzeit* versteht man die Zeit, die ein Signal von Sender zu einem Empfänger benötigt. Dieses Signal kann in Form von Radio-, Mikro-, Licht- oder (Ultra)Schallwellen oder, im Falle eines Laserstrahls, von elektromagnetischen Wellen vorliegen (vgl. Kirschfink 2008, 14). Dadurch, dass die Geschwindigkeit, mit der sich das Signal in der Atmosphäre ausbreitet, bekannt ist, lässt sich über die Laufzeit des Signals die Entfernung zwischen Sender und Empfänger berechnen. Bei der Totalstation sind sowohl Sender als auch Empfänger im Gerät verbaut. Das Signal wird vom anvisierten Ziel reflektiert und die gemessene Zeit entspricht dadurch die der doppelten Entfernung. Über zusätzliche Berechnungen wird eine hohe Genauigkeit erzielt.

<sup>36</sup> siehe Kirschfink 2008, 16f

über die von den Koordinatenachsen zu diesem gemessenen Winkel berechnet, bedient sich die Trilateration der Entfernungsmessung zwischen den bekannten Punkten und  $P$ . Anschaulich wird die Funktionsweise, wenn man dies wie auf Tafel 11 dargestellt auf den zweidimensionalen Raum überträgt: Da  $P$  den gemessenen Abstand haben muss, befindet er sich auf einem Kreis mit diesem Abstand als Radius um den bekannten Punkt. Der Schnittpunkt der insgesamt mindestens drei Kreise ist schließlich  $P$ . Im dreidimensionalen Raum ist das Verfahren mit diesem identisch, nur müssen hier die geometrischen Figuren in 3D übertragen werden:  $P$  liegt auf dem Mantel der Kugel mit dem Abstand als Radius um den gesuchten Punkt. Bringt man die drei Kugel zum Schnitt, so erhält man allerdings zwei Schnittpunkte, von denen nur einer der gesuchte Punkt  $P$  ist und der andere dessen Spiegelung an der von den drei bekannten Punkten aufgespannten Ebene. Durch weitere Faktoren kann der korrekte Punkt jedoch identifiziert werden.

Die wohl bekannteste Anwendung, die auf dieses Verfahren zurückgreift, ist das GPS<sup>37</sup>, bei dem die Entfernungen zwischen drei oder mehr Satelliten und dem gesuchten Punkt auf der Erde gemessen werden. Der gespiegelte Punkt ist irgendwo im Weltraum lokalisiert, wodurch dieser ausscheidet. Aufgrund der zunächst zumindest im Bezug auf das Grabungsraster zu hohen Ungenauigkeit, ist GPS für die Einmessung von Befunden etc. nur bedingt geeignet.

Jedoch gibt es seit den 60er Jahren<sup>38</sup> Geräte, die auf den Prinzipien von Trilateration, Triangulation oder deren Kombination beruhen und auf einer Ausgrabung eingesetzt werden können und auch werden. Das „weltweit erste Feldzeichengerät kam 1975 [...] auf der Heuneburg bei Hundersingen [...] unter der Bezeichnung ‚Kartomat‘<sup>39</sup> zum Feldeinsatz“<sup>40</sup>. Dieses Gerät basiert auf dem schon 1603 durch Christoph Schreiner erfundenen Pantographen<sup>41</sup>, einer mechanischen Vorrichtung, die es erlaubt, eine Zeichnung im gleichen oder veränderten Maßstab zu kopieren. Der Kartomat war zwar eine äußerst sperrige Konstruktion<sup>42</sup>, erlaubte es allerdings, durch das Abfahren von Befundgrenzen eben diese verkleinert auf Papier zu übertragen. Gegenüber dem klassischen Orthogonalverfahren bot dies eine große Zeiteinsparung, bedeutete aber auch einen vergleichsweise hohen Anschaffungspreis<sup>43</sup>.

Ein um etliche Faktoren kompakteres Gerät, das diese mechanische Übertragung der Befundsituation auf Papier ermöglicht, ist der in den 80er Jahren von Peter Eichstaedt

---

<sup>37</sup> Global Positioning System, siehe Kahmen 1997, 522ff

<sup>38</sup> Kirschfink 2008, 5

<sup>39</sup> Abb.X Kartomat

<sup>40</sup> Gersbach et al. 1998, 65

<sup>41</sup> <http://www.deutsche-biographie.de/sfz78106.html> [21.07.2013]

<sup>42</sup> Erst eine verkleinerte Version dieses Gerätes konnte auf der Ladefläche eines PKW transportiert werden. Siehe Gersbach et al. 1998, 65

<sup>43</sup> siehe Biel 1999: Der Preis für die Standardausführung wird hier (im Jahr 1994) mit 7000 DM angegeben

entworfene *Feldpantograph Eichstaedt*<sup>44</sup>. Diese Gerät ist auch heute noch eine sinnvolle Ergänzung der Grabungsausrüstung und lässt sich bequem von einer Person bedienen, die den Zeichenstift der Mechanik über eine pneumatische Vorrichtung heben und senken kann<sup>45</sup>. Das Zeichnen von Befunden, im Besonderen Mauerzüge, lässt sich hiermit äußerst schnell bewerkstelligen. Auf Basis dieses Apparates gibt es zudem Umbauten, die das Ergebnis auch direkt in digitaler Form aufnehmen können.

Seit 1996 existiert ein von der Firma ArcTron<sup>46</sup> entwickeltes, digitales Zeichengerät, mit dem die aufgenommenen Punkte in die von der gleichen Firma entworfene Software *ArcDigit* übertragen werden können. Im gleichen Hause wird seit 1997 der *Laserscanner Alpha* entwickelt, bei dem es sich um eine Art beweglichen Arm handelt, der die Punktberechnung über Drehwinkel und über per Laser gemessene Distanzen durchführt.

Eine Umsetzung der Trilateration kann man bei der Betrachtung eines *Trigomat*<sup>47</sup> erkennen: Mittels dreier eingemessener Stative, auf denen zur Distanzmessung Edelstahlmaßbänder montiert sind, deren Enden an einem Abtaststift befestigt sind. Über ein Handgerät wird die Punktaufnahme ausgelöst.

Auf dem gleichen Prinzip basiert der Hardwareteil des Projekts mit dem Arbeitstitel *Pantora*, das von mir im Vorfeld dieser Arbeit begonnen und in deren Rahmen weiterentwickelt wurde. Es handelt sich um ein dem Trigomaten ähnliches Gerät, das eine möglichst praktische und zudem kostengünstige 3D Befundaufnahme auf Ausgrabungen ermöglichen sollte. Anstelle der Maßbänder wurden allerdings digitale Seilzugsensoren aus dem industriellen Bereich eingesetzt, um die Distanzmessung durchzuführen. Eigens hierfür entwickelt wurde auch die Software, die die Berechnung durchführt und für die Verwaltung von Punkten und Punktgruppen zuständig ist. Bei den Testeinsätzen dieses Prototyps fiel jedoch auf, dass die Handhabe durch die ständig unter Spannung stehenden Seile recht umständlich war. Zum einen benötigte die Bewegung des Messstifts viel Kraft, zum anderen erwiesen sich die Seile als störend: Es musste darauf Acht gegeben werden, dass sich diese nicht verkanteten, und bei spitzem Winkel wurde es zunehmend schwerer, nicht selbst Ursache für diese Verkantung zu werden. Im Verlaufe dieser Arbeit wurde daher versucht, diese zudem noch recht sperrigen Sensoren samt Stative durch eine berührungslose Variante zu ersetzen, deren Distanzmessung über Ultraschall realisiert wird. Erste Experimente mit drei Low-Cost Sensoren verliefen vielversprechend, jedoch erforderte die Umstellung auf

---

<sup>44</sup> Eichstaedt 1985

<sup>45</sup> Tafel 12

<sup>46</sup> <http://www.arctron.de> [20.09.2013]

<sup>47</sup> Tafel 14

Ultraschall durch den eingeschränkten Messradius der Sensoren, dass die Stative zusätzlich noch mit einer elektronischen Drehsteuerung versehen werden mussten, um den gesuchten Punkt nicht aus dem Messbereich zu verlieren. Das vierte Kapitel dieser Arbeit widmet sich diesem Projekt.

### 2.4.5 Fotografie und Photogrammetrie

Auch wenn bereits Aristoteles im 4. Jahrhundert v. Chr. „das Prinzip der Abbildung durch eine kleine Öffnung“<sup>48</sup> beschrieben hatte, so spielte sich die Entwicklung der Fotografie<sup>49</sup> vorwiegend im 19. Jahrhundert ab. Bereits Anfang des 18. Jahrhunderts erkannte Johann Heinrich Schulze, ein Universalgelehrter und Professor an der Universität Altdorf, dass sich Silbernitrat unter Lichteinwirkung veränderte und dadurch Abbilder ausgeschnittener Buchstaben erzeugte. Die ersten Versuche, ein solches Abbild auch zu fixieren, datieren allerdings erst auf das Ende desselben Jahrhunderts. Mit der um 1830 entstandenen Daguerreotypie, bei der Abbilder auf eine mit Jodsilber beschichtete Platte durch Quecksilberdämpfe fixiert wurden und die nach dem Entdecker dieses Verfahrens benannt wurde, konnte die Belichtungszeit drastisch herabgesetzt werden. Es wurde erkannt, dass dieses Verfahren neben anderen Einsatzmöglichkeiten auch für die Archäologie von großem Nutzen sein könnte. In den folgenden Jahrzehnten war vor allem die Haltbarkeit der Motivträger Gegenstand der Entwicklung, da die ersten Fotoplatten nur in feuchtem Zustand benutzbar waren und daher vor dem Einsatz zunächst präpariert werden mussten. Auch der Austrocknungsprozess und die Kristallbildung von Salzen waren Probleme, denen in dieser Zeit Aufmerksamkeit gewidmet wurde. Ab etwa Mitte der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden mit Kollodium beschichtete Platten, die ohne vorherige Behandlung im trockenen Zustand verwendbar waren, in Serie produziert. Einen großen Fortschritt gelang um 1840 dem Briten William Henry Fox Talbot, dem es gelang, die Motive auf Papiernegativen festzuhalten, wodurch das Herstellen von Kopien erst möglich wurde. 1902 entwickelten die deutschen Wissenschaftler Adolf Miethe und Arthur Traube ein Verfahren zur tonwertrichtigen Umsetzung von Farben in Graustufen, das die Grundlage für die ab den 1930er Jahren großflächig eingesetzten Farbfotografie darstellt.

1857 kam am Mausoleum von Halikarnass vom britischen Archäologen Ch. T. Newton die Fotografie erstmals zu Dokumentationszwecken einer Ausgrabung zum Einsatz<sup>50</sup> und trotz der Mitte der 1990er Jahre zur Marktreife gelangten digitalen Fotoapparate spielt

---

<sup>48</sup> von Hoerschelmann 1978, 13

<sup>49</sup> siehe von Hoerschelmann 1978

<sup>50</sup> von Hoerschelmann 1978, 18

auch heute die analoge Fotografie noch eine Rolle in der Archäologie. Die Digitalfotografie ist in vielen Bereichen ein vollwertiger Ersatz und bringt viele Vorteile mit sich, von denen das Wegfallen der Entwicklung und der damit verbundenen Wartezeit auf Ergebnisse mit Blick auf den Einsatz bei Ausgrabungen wohl am schwersten wiegt. Kann man bei der Analogfotografie Fehler und Probleme, die während der Aufnahme auftraten, erst nach der Entwicklung erkennen, also nachdem in den meisten Fällen die Grabung schon abgeschlossen und die Situation unwiederbringlich verloren ist, so liegt bei der digitalen Fotografie das Resultat bereits direkt nach der Aufnahme vor. Es besteht dadurch die Möglichkeit, im Falle, dass das Ergebnis nicht wunschgemäß ist, direkt eine weitere Aufnahme zu erstellen.

Das Ergebnis ist sowohl bei der digitalen, als auch der analogen Aufnahme das gleiche: ein optisches Abbild der Grabungssituation ohne weiterführende Aussagen darüber. Genauer gesagt entspricht eine Fotografie der fixierten Projektion des Motivs auf eine zweidimensionale Ebene, die durch den Film bzw. den CCD<sup>51</sup>- oder CMOS<sup>52</sup>-Sensor der Kamera repräsentiert wird. Der analoge Film besteht aus einer lichtempfindlichen Schicht, deren Auflösung durch deren Korngröße bestimmt ist: je kleiner die Körnung, desto höher die Auflösung. In der Digitalfotografie wird die Auflösung durch die Sensoren, bestimmt, die vereinfacht gesagt aus einer der Auflösung entsprechenden Menge an lichtempfindlichen Fotodioden bestehen, die in einer Matrix angeordnet sind. Jeder Punkt einer Auflösung repräsentiert einen Bereich der Situation, dessen Größe abhängig von der Entfernung zur Kamera und deren Auflösung ist. Die Projektion der Objektpunkte auf den Bildträger oder Digitalchip lässt sich anhand des auf Tafel 15 abgebildeten Schemas einer Lochkamera erkennen.

In der Analogfotografie waren die Bilder auf Fotopapier oder Dias bis zum Einsatz von Computern über mehr als ein Jahrhundert hinweg das Endergebnis dieser Methode, dem bis dato kaum weiteren Informationen entnommen werden konnten. Mit der Entwicklung von Scannern konnte man schließlich die analoge Fotografien auch in das digitale Format überführen und mit Mitteln der EDV weiterverarbeiten. Mit dieser Überführung ist ein gemeinsames, grundlegendes Datenformat erreicht, das zunächst keine weiterführenden Informationen enthält. Entsprechend der zur Digitalisierung eingesetzten Sensoren liegen die digitalen Bilddaten in der durch die Auflösung definierten Matrixform vor.

Dies gilt sowohl für gescannte, als auch für die mit Digitalkameras aufgenommenen Bilder. Jedes Element dieser Matrix ist als Abbild eines Bereichs der Aufnahme zu verstehen. Die Prozessoren moderner Digitalkameras sind derart leistungsfähig, dass bereits die

---

<sup>51</sup> Charge-coupled Device

<sup>52</sup> Complementary Metal Oxide Semiconductor

kamerainterne Software zahlreiche Optionen zur Bildverbesserung und -komprimierung anbietet, die unmittelbar nach der Aufnahme und vor dem Abspeichern auf den eingelegten Datenträger angewandt werden. Für die Grabungsdokumentation ist es jedoch unabdingbar, das Rohdatenformat der Kamera zu wählen, das die unveränderten Sensordaten speichert. Man spricht hier auch von einem *digitalen Negativ*.

Gekoppelt an Vermessungsdaten können mit Hilfe der Photogrammetrie aus den reinen Bilddaten zusätzliche, wertvolle Informationen über Abmessungen und die räumlichen Zusammenhänge gewonnen werden. Hierzu muss das Bild eine Entzerrung durchlaufen, wodurch perspektivische Fehler, die dem Winkel der Kamera zum aufgenommenen Objekt geschuldet ist, eliminiert werden. Bei annähernd ebenen Plana oder Profilen kann man bereits anhand vier auf der Fotografie identifizierbaren und im 3D-Raum bekannten Passpunkten eine Abbildung erzeugen, die perspektivisch fast perfekt ist. Während der Datenverarbeitung, in der unter anderem die durch die Fotografie entstandenen Zentralprojektion in ein orthogonales Abbild<sup>53</sup> umgerechnet werden kann, können die entzerrten Fotos beispielsweise mit den Zeichnungen synchronisiert werden, beide anschließend in einem 3D Modell überlagert dargestellt und so die Richtigkeit der Zeichnungen kontrolliert werden oder als Ergänzung zur Auswertung wirken. Um dies grundsätzlich zu ermöglichen, müssen mindestens die erwähnten vier Passpunkte möglichst zeitnah zur Fotografie in den Datenbestand aufgenommen werden. Die exakte Festlegung von Passpunkten ist besonders bei der Stereofotografie wichtig, bei der zwei Bilder aus unterschiedlichen Positionen aufgenommen werden. Aus den so gewonnenen Aufnahmen lassen sich in der Nachbearbeitung zusätzlich Tiefeninformationen gewinnen.

### 2.4.6 3D-Scanning

Die seit Mitte der 1990er Jahre immer schneller voranschreitende Entwicklung der Computertechnik sorgte dafür, dass EDV-gestützten Verfahren, bei denen in kürzester Zeit große Mengen an Rechenoperationen verarbeitet werden müssen, entworfen oder verbessert werden konnten. Für die Archäologie bedeutete dies nicht nur, dass Methoden der Datenverarbeitung und Auswertung wie Statistiken immer schneller wurden, es wurde somit auch der Weg für neue Anwendungsbereiche wie virtuelle Rekonstruktionen und die optische Darstellung von Ergebnissen geebnet. Aber auch die direkt auf der Ausgrabung einsetzbaren Geräte und Vorgehensweisen profitierten direkt von den Neuerungen, was auch im vorhergehenden Abschnitt, in dem die Fotografie abgehandelt wurde, sehr gut

---

<sup>53</sup> siehe Tafel 16

erkennbar ist. Die Verkleinerung der Hardware, die im Zuge dieser Entwicklung erreicht werden konnte, ermöglichte, dass computergestützte Werkzeuge, die zunächst aufgrund von Größe und Gewicht nur stationär einsetzbar waren, nun auch in handlichere, mobile Formate überführt werden.

Durch diesen technischen Fortschritt konnte das Prinzip der berührungslosen Entfernungsmessung via Laser, auf die auch einige moderne Totalstationen zurückgreifen, derart beschleunigt werden, dass mehrere Messungen und Fehlertoleranzberechnungen nun in Sekundenbruchteilen durchgeführt werden konnten. In Kombination mit einer durch den Computer durchgeführten, automatischen Ausrichtung der Totalstation, bzw. des Lasers auf ein Ziel und der Registrierung des veränderten Winkels konnten nun ganze Bereiche ohne menschliches Eingreifen vermessen werden. Diese Möglichkeiten bildeten die Grundlage für eine mittlerweile vor allem in der Baudenkmalsforschung kaum mehr wegzudenkenden Aufnahmemethode: das *Laserscanning*.

Vor allem bei der Dokumentation unregelmäßiger Strukturen wie aus Bruchsteinen aufgebauten Mauerzügen oder reliefierten Objekten zeigt sich die Stärke des Laserscans, genauer gesagt dessen terrestrischen, also auf dem Boden stationierten Variante. Gegenüber einer einzelnen fotografischen Aufnahme, die ein lediglich auf zwei Dimensionen transferiertes Abbild darstellt, werden durch einen solchen Scan vollwertige 3D-Daten gewonnen, und da der Scanner in das lokale Grabungsraster eingehängt ist, sind die so gewonnenen Punkte diesem gegenüber bereits aussagekräftig. Man kann einen Laserscan durchaus als eine um Tiefeninformationen erweiterte Fotografie bezeichnen, da es sich hierbei zunächst um eine reine Abbildung der Situation, also des Motivs handelt. Besonders klar wird das in Anbetracht der Tatsache, dass es sich bei den aufgenommenen Daten ebenfalls um gerasterte Daten handelt, da das Motiv auf eine Ebene mit einer festgelegten Auflösung abgebildet wird<sup>54</sup>. Eine Relevanz, Aussagekraft oder Wichtigkeit der Punkte wird nicht mit aufgenommen.

Die dem Laserscan zu Grunde liegende Entfernungsmessung und Punktbestimmung via Laufzeitmessung ist nicht das einzige Verfahren, das in die Kategorie 3D-Scan fällt. Der *Streifenlichtscanner* folgt einem anderen Weg, um dreidimensionale Daten zu erhalten. Bei dieser Methode wird auf das aufzunehmende Objekt ein Streifenmuster projiziert, das von mindestens einer, meist jedoch zwei Kameras aufgenommen wird, wobei Position von Projektor und Kamera bekannt sind. Die im Gerät erfolgte Gewinnung der 3D Daten bedient sich hierbei unter anderem den Prinzipien der Triangulation und der Photogrammetrie.

---

<sup>54</sup> Tafel 17



Zusammenfassend kann das Ergebnis eines 3D-Scans recht einfach beschrieben werden: Es handelt sich um eine Vielzahl an Punkten in Form von 3D-Koordinaten, sogenannte *Punktwolken*. Durch die Kombination des Scanners mit einer Digitalkamera lassen sich zudem Farbwerte für die einzelnen Punkte gewinnen, wodurch sich mit nur wenig Arbeitsaufwand während der Datenverarbeitung am Computer ein 3D-Modell erzeugen lässt. In dieser Rohform lässt sich zwar ein optischer Eindruck der Situation gewinnen, der tatsächliche Nutzen für die Archäologie ergibt sich jedoch erst nach einer Weiterverarbeitung, zum Beispiel durch das Auflegen einer Textur in Form der während des Scans erzeugten Fotos auf die Punktwolke<sup>55</sup>.

### 2.4.7 Zeichnerische Dokumentation

Das Herzstück der analogen Dokumentation bilden zweifelsohne die auf Millimeterpapier angefertigten Zeichnungen<sup>56</sup>, die auch trotz der immer weiter fortschreitenden Digitalisierung für eine bestmögliche Aufnahme der Grabung noch immer unverzichtbar sind. Die fertigen Planums-, Profil- und Befundzeichnungen sind eine vom Ausgräber geprägte Situationsdokumentation, in die dieser seine vor Ort angestellte Interpretation einfließen lässt. Bei der nachträglichen Auswertung, die möglicherweise von Personen durchgeführt wird, die die Ausgrabung in natura nie gesehen haben, stellen diese die erste Quelle dar, von der aus sämtliche Überlegungen ausgehen. Um so wichtiger ist es, neben den reinen, interpretationsfreien Aufnahmen zusätzlich auf diese Zeichnungen zurückgreifen zu können, auf denen nicht nur die Verknüpfungen von Funden und Befunden miteinander und untereinander festgehalten, sondern auch aus der gesamte Datenmenge, die wie bereits erwähnt faktisch unendlich groß ist, nur die Aussagekräftigen und für die Forschung wertvollen herausgefiltert sind.

Im Verlauf dieses Kapitels wurde bereits darauf hingewiesen, dass das Anfertigen einer Zeichnung genau genommen bereits eine Art der Datenverarbeitung ist, da dadurch fast alle auf der Grabung gewonnenen Daten miteinander in Relation gebracht, wodurch sie im Sinne der o.a. Terminologie-Diskussion zur Information werden.

Ausgangspunkt einer Zeichnung ist eine ideale Ebene, repräsentiert durch das Millimeterpapier, auf das die abzubildende Situation projiziert wird. Zunächst wird in Abhängigkeit der Komplexität der Befundsituation der Maßstab festgelegt, in dem die Zeichnung angefer-

---

<sup>55</sup> Genauer gesagt wird die Textur nicht auf die Punktwolke aufgelegt, sondern auf ein Gittermodell, das durch die Vermaschung der einzelnen Punkte miteinander entsteht.

<sup>56</sup> Tafel 19

tigt wird<sup>57</sup>. Anschließend werden zwei Punkte eingezeichnet, über die die Zeichnung dann in das Grabungsraster eingehängt werden kann und die die Grundlinie für die Einmessung der Objekte bilden. Dadurch kann die abzubildende Situation Punkt für Punkt auf die Zeichnung übertragen werden, wozu natürlich auch verschiedene Hilfsmittel genutzt werden können, von denen einige bereits vorgestellt wurden.

Digital nur sehr schlecht umsetzbar ist die Kolorierung der Zeichnungen, die zwar dem subjektiven Empfinden des Zeichners unterliegt, dadurch allerdings so abstrahiert und auf die wichtigsten Elemente reduziert wird, so dass das Ergebnis für den späteren Betrachter besser lesbar ist. Durch einen im Vorfeld definierten Standard, der festlegt, welche Farben für welche Bodenart zu verwenden sind, werden Zusammenhänge, die über mehrere Zeichnungen verteilt sind, erfasst, wodurch für die Auswertung eine gute Grundlage geschaffen wird. Beim Kolorieren ist ein recht hoher Freiheitsgrad gegeben, so dass nicht nur Abweichungen wie leichte Farbunterschiede und Farbverläufe in einer Schicht übertragen werden können, sondern z.B. mittels Schattierungen ein Tiefeneffekt bei von der Idealebene abweichenden Objekten erzeugt werden kann. Mit Mitteln der EDV sind derartige Effekte sicherlich möglich, jedoch wird dies nicht ohne langjährige Erfahrung in Bereich der Bildbearbeitung zu bewerkstelligen sein. Eine Umsetzung direkt vor Ort auf der Grabung, was aus Gründen der Authentizität zwingend erforderlich ist, würde schon aufgrund der hohen Empfindlichkeit der elektronischen Geräte und auch aus Zeitgründen scheitern.

Das Eintragen von Höheninformationen<sup>58</sup> in Form von Nivellementpunkten ergänzt die plane Abbildung derart, dass auch ein räumlicher Eindruck festgehalten wird. Über die auf der Zeichnung festgehaltenen Befundnummern wird die Verbindung zu den verwaltungstechnischen Daten der Grabung hergestellt. Diese die reine optische Wiedergabe ergänzenden Daten können auf ein darüberliegendes Transparentpapier vermerkt werden, um die Übersichtlichkeit zu wahren. Ein positiver Nebeneffekt dieser Vorgehensweise ist die Trennung verschiedener Daten, bzw. Informationstypen.

Zusätzlich zur eigentlichen Zeichnung sind weitere Angaben auf dem Blatt zu vermerken, wie beispielsweise Planum, Profil, Schnitt oder Befund, die diese abbildet. Auch allgemeine Daten zur Grabung, also Jahr der Grabungssaison oder Ort und Gemarkung, sind auf diesem festzuhalten, ebenso wie die Zeichnung selbst betreffende Informationen, wie beispielsweise das Datum der Anfertigung, der Zeichner oder der Maßstab. Sofern keine von der ausfüh-

---

<sup>57</sup> siehe Biel 1999, Kap. 18.1

<sup>58</sup> Dies bezieht sich in erster Linie auf Planumszeichnungen und hätte im Falle von Profilaufnahmen seine Entsprechung in Tiefeninformationen, die allerdings recht schwer zu gewinnen sind.

renden Behörde gemachte Vorgaben zur Farbgebung von Erdschichten oder Fundgattungen (Keramik, Knochen, Metall, usw.) gelten, sollte zudem eine Legende angefertigt werden.

### 2.4.8 Beschreibende Dokumentation

Die Beschreibende Dokumentation<sup>59</sup> ergänzt die bereits vorgestellten Methoden um Aussagen, die das Begreifen der Grabungssituation wichtig sein könnten. Der bewusst gewählte Konjunktiv soll an dieser Stelle nochmals in Erinnerung rufen, dass jeder auf der Grabung getätigte Schritt - allgemeiner gesagt: jede anfallende Information - dokumentiert werden sollen, sofern dies die Umstände zulassen, selbst wenn hiervon sicherlich nicht alles bei der Auswertung zum Tragen kommt. Sollte sich an einer Stelle der Dokumentation eine Lücke auftun, ist man für jede zur Verfügung stehende Information, die bei der Rekonstruktion der betreffenden Situation hinzugezogen werden kann, dankbar. Die beschreibende Dokumentation, oftmals bestehend aus ausformulierten Sätzen, erscheint manchmal redundant, bedeutet in diesem Rahmen betrachtet aber eine zusätzliche Absicherung.

In jedem Bereich der Grabung werden auf diese Art Ergänzungen festgehalten, für die es teilweise Richtlinien und auch Formulare gibt, durch welche die Basis gestellt wird. Jedoch schwanken Detailgrad, Formulierung oder Gewichtung in Abhängigkeit von der Art der Grabung, der Erfahrung der Ausgräber oder der jeweiligen Methode derart, dass einerseits eine sämtliche Bereiche umfassende Vorgehensweise nicht zu formulieren ist, und andererseits im Rahmen dieser Arbeit nicht jeden Bereich bis ins Detail vorgestellt werden kann.

Die Beschreibung von Funden und Befunden<sup>60</sup> ist wichtiger Bestandteil der Grabungsdokumentation, da der Ausgräber nicht nur erweiterte Angaben zu den Umständen und Sachverhalten geben kann, sondern schwierige Situationen auch in eigener Wortwahl ausformulieren kann. Eine spätere, semantische Analyse ist mit Mitteln, die der Fachbereich Computerlinguistik zur Verfügung stellt, durchaus möglich, vorwiegend profitiert aber der Bearbeiter der Dokumentation davon: Die auf ein subjektives Niveau gebrachten Daten erhalten durch die Beschreibungen zumindest einen Teil der vom Archäologen ausgehenden Objektivität zurück, mit der sie aufgenommen wurden.

Die Befundbeschreibung besteht zunächst aus grundlegenden Angaben, zu denen Aussagen über das Erdmaterial des Befundes, die Lage oder die Form zählen. Die Art des Befundes ist ausschlaggebend für die weiter ins Detail gehende Dokumentation: Es liegt auf der Hand,

---

<sup>59</sup> vgl. Biel 1999, Kap. 18.4

<sup>60</sup> siehe Biel 1999, Kap. 18.4.2

dass bei einem Körpergrabbefund im Speziellen die menschlichen Überreste (Ausrichtung und Lage des Leichnams, Erhaltungszustand, etc.) und Beigaben (Menge, Art, Position, usw.) von Bedeutung sind, bei einer Vorratsgrube die Beschreibung hingegen eher Aussagen über die Stratigraphie und das Füllmaterial enthält.

Die Beschreibende Dokumentation von Plana und Profilen<sup>61</sup> kann ebenfalls Details zu den verschiedenen Schichten und Befunden und zusätzlich die Relation der Befunde und Funde zueinander enthalten. Des weiteren können geologische Eigenschaften, mutmaßliche Funktionen wie z.B. „Laufhorizont“ oder „Fundament“ oder aber auch Störungen, seien es natürliche oder durch den Menschen verursachte, oder auch rezente oder antike, beschrieben werden.

Eine besondere Stellung nimmt das Grabungstagebuch<sup>62</sup> ein, da in diesem neben Angaben zum Tagesablauf auch die Verwaltung und Organisation betreffende Informationen festgehalten werden, die auf den ersten Blick keinen allzu großen Nutzen für die Auswertung zu haben scheinen. Als Beispiel sei hier die Anwesenheits- und Besucherliste, in der neben den Mitarbeitern auch Gäste, nicht selten samt Kontaktdaten, eingetragen werden, die mit dem Ablauf der Grabung keinen direkten Kontakt haben. Bedenkt man jedoch, dass Anwohner möglicherweise das Grabungsareal über Jahre hinweg vor Augen hatten und Beobachtungen anstellen konnten, die in der kurzen Dauer der Ausgrabung faktisch nicht möglich sind, können diese auch nachträglich Informationen beisteuern. Die im Tagebuch eingetragenen, das Wetter betreffenden Notizen hingegen können bei einer Diskussion um einen zweifelhaften Befund hinzugezogen werden und die möglicherweise auftretende Frage klären, ob durch Regen verursachte Staunässe zu einer Fehlinterpretation geführt hat.

---

<sup>61</sup> siehe Biel 1999, Kap. 18.4.3

<sup>62</sup> siehe Biel 1999, Kap. 18.4.1

### 3 Einreichung und Archivierung digitaler Daten

Eine Ausgrabung kann erst dann als abgeschlossen bezeichnet werden, sobald die Dokumentation in einen - zumindest vorübergehend - finalen Zustand gebracht wurde, aus dem sich die getätigten Schritte rekonstruieren lassen und die Auswertung initiiert werden kann. Bevor mit der Auswertung begonnen werden kann, muss festgestellt werden, wie sich die Grabungsdokumentation überhaupt zusammensetzt, also aus welchen Komponenten sie besteht und auf welche Informationen zugegriffen werden kann. Hierbei spielt es zunächst keine Rolle, ob die Daten analog oder digital vorliegen, da Information unabhängig von der Art der Datenaufbewahrung ist. An dieser Stelle sei an die im Kapitel *Hinweise zur Terminologie* getroffene Unterscheidung zwischen Daten und Information hingewiesen. Information bedeutet, dass die auswertende Person über den Kontext die Daten *versteht* und somit verarbeiten kann. Sie ist an kein Medium gebunden, muss sich aber aus einer Quelle rekonstruieren lassen. Diese sich auch der Dokumentation ergebenden Informationen sind die Grundlage für die Überlegungen, wie diese umgesetzt und miteinander verwoben werden können, um weiterführende Informationen zu gewinnen und somit einen Mehrwert für die archäologische Forschung zu erzielen. Anhand eines einfachen Beispiels lässt sich dies demonstrieren: Als Daten liegen ein auf der Grabung freigelegtes Stück Holz und die Koordinaten des Fundorts vor. Eine dendrochronologische Untersuchung des Datums „Holzstück“ bringt als Information eine zeitliche Datierung zu Tage. Zusammen mit der bereits vorhandenen Information, dass dieses Stück zu einem Befund gehört, erhält man als Mehrwert eine Datierungsaussage zu diesem Befund.

Wie sich die Grabungsdokumentation tatsächlich zusammensetzt, ist abhängig vom Einzelfall. Der Konsens ist zwar immer eine bestmögliche, allumfassende Dokumentation, aufgrund der oben angeführten unterschiedlichen Vorgehensweisen, Grabungsmethoden und -arten, lässt sich allerdings keine allgemeingültige, konkrete Aussage darüber treffen. Betrachtet man alleine die Bundesrepublik, so hat jedes Bundesland eigene Richtlinien zur Dokumentation von Bodendenkmälern und deren Einreichungsform nach Abschluss der Grabung. Die Richtlinie „Ausgrabung und Prospektion“ des Verbands der Landesarchäologen von 2006 listet die zu übergebenden Unterlagen wie folgt auf<sup>1</sup>:

- Fundmeldung auf den Formularen des zuständigen Fachamtes
- Originaldokumentation (Grabungstagebücher oder Stellenkarten)
- Originale der Feldzeichnungen
- Zeichnungen und Pläne
- Originalfotodokumentation
- Originalvermessungsunterlagen soweit nicht in die Dokumentation eingearbeitet

---

<sup>1</sup> Verband der Landesarchäologen 1999, 15

- Befundlisten nach den Vorgaben des zuständigen Fachamtes
- Fundlisten und ggf. Formblätter mit Funderfassung und Fundverbleib sowie Unterlagen zu den Besitzverhältnissen an den Funden
- Doppel der Fundzettel entsprechend den Vorgaben des zuständigen Fachamtes bzw. des zuständigen Museums
- Liste der naturwissenschaftlichen Proben mit wissenschaftlicher Fragestellung zur Einzelprobe
- Unterlagen zu bereits durchgeführten bzw. noch erforderlichen Konservierungsarbeiten
- Zwischenberichte
- Vorhandene Datenträger
- Sämtliche verfügbare und im Verlaufe des Projekts beschaffte bzw. angefertigte Unterlagen (Archivauszüge, Katasterpläne u. ä.)
- Pressebeiträge mit Quellenangaben
- Abschlussbericht
- Publikationsfähiges Manuskript einer Zusammenfassung der Grabungsergebnisse nach den Vorgaben des zuständigen Fachamtes

Die Richtlinie umfasst neben den für die Auswertung wichtigen Primärdaten auch Daten und Informationen, die auf den ersten Blick hierfür ohne Relevanz sind, wie z.B. Pressebeiträge. Für andere Bereiche können diese allerdings durchaus als wichtige Quelle dienen. Man erkennt die Bemühungen um eine möglichst lückenlose Darstellung und Aufzeichnung sämtlicher Vorgänge auf der Grabung. Im Detail betrachtet fächern sich die einzelnen Punkte in Heterogenität auf, da die vielen bereits angeführten Faktoren auf der Ausgrabung Entscheidungen erzwingen, die sich sowohl direkt als auch indirekt auf die letztendlich eingereichte Dokumentation auswirken.

Die Datenverarbeitung beschreibt nicht nur den Prozess, vorhandene Daten in ein für den Menschen interpretierbares Ergebnis zu überführen, sondern jegliche Art der Umsetzung von Quelldaten in eine andere Struktur, was bereits während den bei der Grabung zur Anwendung kommenden Methoden zu genüge passiert. Aus diesem Grund ist es schwer, im Rahmen einer Ausgrabung einen konkreten Zeitpunkt für die Zäsur zwischen Aufnahme und Verarbeitung zu setzen.

Gegenüber den analogen Aufnahmen haben digitale Daten mehrere Vorteile. Auf der logistischen Seite nimmt die digitale Dokumentation nur einen äußerst kleinen Bruchteil des Platzes ein, der für die Lagerung von analogen Daten in Form von Papier, Akten oder Diakästen beansprucht werden würde: Mit Ausnahme der physischen Daten lassen sich alle

Ergebnisse einer Grabung annähernd vollwertig auf digitalen Speichern zusammenfassen, die heutzutage nicht größer als eine Briefmarke sind. Des weiteren lassen sich digitale Daten sehr schnell vervielfältigen und weitergeben, wodurch die Kollaboration bei der Auswertung und darüber hinaus auch zwischen topografisch weit voneinander entfernten Institutionen stark vereinfacht und teilweise überhaupt erst ermöglicht wurde.

Der wohl größte Vorteil ist allerdings die gewonnene Möglichkeit der direkten Weiterverarbeitung der aufgenommenen Datensätze mit Hilfe von Computern. Die Bandbreite an Anwendungsmöglichkeiten reicht hier von einfachen - weil automatisierten - Sortiervorgängen in Tabellenkalkulationen über hochspezialisierte Abfragen komplexer Datenbanken zum Anfertigen von Statistiken bis hin zu 3D-Rekonstruktionsvorschlägen ganzer Städte. Um mit analogen Daten ähnliche Prozesse durchzuführen, müssen diese in ein digitales Format überführt werden, wozu auch mehrere Schritte nötig sein können.

Neben den durch die EDV ermöglichten, zahllosen Methoden, aus Grabungsdaten neue, für die Wissenschaft wertvolle Informationen gewinnen zu können, dürfen allerdings auch die Probleme, die damit einher gehen, nicht außer acht gelassen werden. Seit den Anfängen der Nutzung von Computern im Rahmen der Archäologischen Forschung in den 1960er Jahren<sup>2</sup> bis heute entstanden zahllose Datensätze, man kann allerdings erst bei denen der letzten 10 - 15 Jahren von einer gewissen Homogenität der Datenformate sprechen. Geschuldet ist dies den unterschiedlichen, proprietären Programmen, deren Dateistruktur für Software von anderen Herstellern nicht lesbar war und oftmals auch noch sind.

Ein weiteres, schwerwiegendes Problem, das erst in den letzten Jahren die nötige Aufmerksamkeit erhielt, ist die begrenzte Haltbarkeit der digitalen Datenträger<sup>3</sup>. Gebrannte CDs der ersten Generation, die man zum damaligen Zeitpunkt möglicherweise als Langzeitarchivierung von Daten eingesetzt hat, können heute trotz sorgfältiger Behandlung und Lagerung bereits unlesbar geworden sein. Eine Verarbeitung digitaler Daten setzt neben des Vorhandenseins selbiger auch deren Lesbarkeit und Interpretierbarkeit voraus. Bei nicht mehr gebräuchlichen Dateiformaten kann letztere über eine Konvertierung, bei der es sich auch um eine Verarbeitung handelt, in ein modernes Format gesteigert und so die Zukunftssicherheit erhöht werden.

---

<sup>2</sup> Häuber – Schütz 2004, 16

<sup>3</sup> <http://www.heise.de/ct/artikel/Silberne-Erinnerungen-291658.html> [09.10.2013]

### 3.1 Lesbarkeit und Interpretierbarkeit

Die Lesbarkeit ist die Grundvoraussetzung für jeden weiteren Schritt im Rahmen der Auswertung. Dies hat beiderseits für analoge und digitale Aufnahmen Gültigkeit: Digitale Daten müssen für ein Computerprogramm, analoge für den Menschen lesbar sein. Die Vorgänge und Methoden, die dies auf Seiten der EDV ermöglichen, erscheinen zunächst abstrakt, lassen sich aber fast identisch auf das alltägliche Leben übertragen. Nimmt man als Beispiel das Lesen eines Buches, so liefert das Buch in Form von Text die Daten. Die Kenntnis der Sprache, in der dieses geschrieben ist, ist Grundvoraussetzung für das Verständnis der einzelnen Wörter. Die Zusammenstellung eines Satzes liefert den Kontext, durch den aus den für sich alleine stehenden Worten Information wird. Es ist nicht verwunderlich, dass sich die Informatik teilweise einer ähnlichen Terminologie bedient und eine Aneinanderreihung von Zeichen als *Datenwort* bezeichnet<sup>4</sup>.

Um die digitale Grabungsdokumentation allerdings wieder für den Menschen lesbar zu machen, muss diese zunächst für einen Computer auswertbar sein. Um von den Rohdaten zu einer Darstellung an einem Monitor oder einem Ausdruck auf Papier zu kommen, ist ein Prozess vonnöten, an dessen Anfang das Importieren und somit Interpretieren der gespeicherten Dateien durch eine Software steht, die mit den vorliegenden Datensätzen umgehen können muss. Hierzu bedarf es bestimmter Anforderungen, die schon bei der Einreichung berücksichtigt werden müssen.

Ein weiterer Aspekt, der bereits bei der Einreichung der Grabungsdokumentation beachtet werden sollte, ist eine längerfristige Archivierung. Als Langzeitarchivierung bezeichnet man das Einlagern von Daten, um deren Erhalt und Lesbarkeit auf längere Zeit gesehen, zu sichern. Liegmann und Neuroth definieren den Begriff *Langzeit* folgendermaßen: „Langzeit‘ ist die Umschreibung eines nicht näher fixierten Zeitraumes, währenddessen wesentliche, nicht vorhersehbare technologische und soziokulturelle Veränderungen eintreten; Veränderungen, die sowohl die Gestalt als auch die Nutzungssituation digitaler Ressourcen in rasanten Entwicklungszyklen vollständig umwälzen können.“<sup>5</sup>

Die digitale Dokumentation besteht allgemein formuliert aus einem Datenträger, der Dateien enthält, die aus der Anwendung von den während der Ausgrabung eingesetzten Methoden resultieren. Ohne Kenntnis der Dateistruktur betrachtet, handelt es sich bei einer Datei um eine Binärfolge, also einer auf dem Datenträger festgehaltenen Menge von Nullen

---

<sup>4</sup> <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Datenwort-word.html> [10.10.2012]

<sup>5</sup> Neuroth et al. 2009, 17



und Einsen, die die Daten repräsentiert<sup>6</sup>. Um nun deren Lesbarkeit, die Grundvoraussetzung für die Datenverarbeitung ist, zu gewährleisten, müssen sowohl die Spezifikationen des Dateisystems, das auf dem Träger verwendet wird, bekannt sein, als auch das Format der einzelnen Dateien. Zudem muss die Hardware auch auf dem System, auf dem die Daten verwendet werden sollen, einsetzbar sein.

#### 3.1.1 Dateisysteme

Das Lesen und Speichern auf Datenträgern, sprich die Überführung der digitalen Daten auf einem physischen Medium, gestaltet sich auf einem modernen Computersystem problemlos und für den Benutzer besteht auf den ersten Blick keine zwingende Notwendigkeit, sich mit der grundlegenden Struktur des Datenspeichers auseinanderzusetzen. Moderne Betriebssysteme erledigen diese Aufgabe fast autark und Konventionen sorgen auch zwischen den unterschiedlichen auf dem Markt erhältlichen Betriebssystemen für einen scheinbar hohen Grad an Portabilität. Man muss sich jedoch vor Augen halten, dass die Betriebssystemhersteller standardmäßig unterschiedliche Dateisysteme für Datenträger einsetzen, die oftmals tatsächlich auch auf Rechnern mit anderem Betriebssystem problemlos und ohne weiteres Zutun funktionieren, aber auch solche existieren, die auf Systemen anderer Hersteller nicht ohne weiteres auslesbar sind. Auch im universitären Umfeld konnten Computer der Firma Apple mit dem hauseigenen Betriebssystem iOS Fuß fassen. Ein Datenträger, auf dem dessen Standard-Dateisystem HFS<sup>7</sup>, das seit 1998 zum Einsatz kommt<sup>8</sup>, verwendet wird, ist unter Windows nicht ohne zusätzlichen Aufwand nutzbar<sup>9</sup>.

Als Beispiel für einen drohenden Daten- und Informationsverlust, der von dem eingesetzten Dateisystem abhängt, sei eine besondere Technologie zur Speicherung von Metadaten angeführt, die sowohl unter HFS+ als auch unter dem von Microsoft seit WindowsXP standardmäßig eingesetzte NTFS<sup>10</sup> Verwendung findet. Neben den eigentlichen Dateien werden weiterführenden Informationen über ADS - Alternate Data Streams gespeichert. Diese werden zusätzlich zu den damit verbundenen Dateien auf dem Datenträger abgelegt, sind aber im normalen Gebrauch vor dem Benutzer verborgen. Für die Archäologie von besonderem Interesse ist, dass unter einem Windows Betriebssystem für Bilddateien und Textdokumente über den Dateimanager zusätzliche Informationen wie der Name des Autors

---

<sup>6</sup> Tafel 18

<sup>7</sup> Hierarchical File System +

<sup>8</sup> <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/hierarchichal-file-system-plus-HFS-plus.html> [12.09.2013]

<sup>9</sup> <http://www.stanford.edu/group/ttsclasses/cgi-bin/techietips/?p=1271> [12.10.2013]

<sup>10</sup> New Technology File System

eingetragen werden können, die physisch allerdings getrennt von der eigentlichen Datendatei in ADS gespeichert werden. Bei der Weitergabe der Datei, also einem Kopieren auf einen Datenträger mit anderem Dateiformat, auf einen Netzwerkspeicher oder einem Versand per Email, können diese Informationen unbemerkt verloren gehen<sup>11</sup>.

In den Grabungsrichtlinien der Denkmalämter findet man zwar korrekterweise Regeln, die die Dateiformate betreffen, und auch Hinweise auf die Art des einzureichenden Datenträgers, jedoch wird höchstens marginal auf das Dateisystem eingegangen. Die vom Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege veröffentlichten „Vorgaben zur Dokumentation archäologischer Ausgrabungen in Bayern“<sup>12</sup> beschäftigt sich zwar intensiv mit einzureichenden Dateiformaten und liefert vorbildliche Definitionen hierzu, in Bezug auf die Einreichungsform der digitalen Daten ist hingegen nur ein einziger Satz zu finden: „Die digitalen Daten der Grabungsdokumentation müssen dem BLfD auf Datenträger übergeben werden.“<sup>13</sup> Was unter dem Begriff *Datenträger* zu verstehen ist, findet keine Erwähnung.

Den Richtlinien der Generaldirektion Kulturelles Erbe (GDKE) Rheinland Pfalz ist zu entnehmen: „Am Ende einer Grabungskampagne hat die Datensicherung auf CD-ROMs zu erfolgen“<sup>14</sup> und an anderer Stelle in Bezug auf Befundbeschreibungen und Listen: „Nach Abschluss der Aufarbeitungszeit ist die schriftliche Dokumentation im Original (Handschriften), als Datei (auf abgeschlossener CD-ROM, keine Multisession) und als Ausdruck (1 Exemplar) dem zuständigen Mitarbeiter der DA-Speyer zu übergeben“<sup>15</sup>. Fast beiläufig wird hier in einem Nebensatz eine für die Lesbarkeit des Datenträgers immens wichtige Aussage getroffen: Es darf sich nicht um eine im Multisession-Modus beschriebene CD-ROM handeln und diese muss zudem abgeschlossen sein. Multisession CD-ROMs bieten die Möglichkeit, nach einem Brennvorgang den nicht verwendeten Speicherplatz in einer weiteren Brennsession zu beschreiben. Damit die so gespeicherten Daten im Anschluss wieder lesbar sind, müssen offene Sessions abgeschlossen werden, was im Singlesession-Modus automatisch am Ende des Vorgangs passiert<sup>16</sup>.

Der Verband der Landesarchäologen der Bundesrepublik Deutschland hat erkannt, „dass alle derzeit üblichen Träger digitaler Daten ebenso wie alle bislang bekannten Dateiformate nicht die notwendigen Bedingungen für eine Langzeitarchivierung erfüllen“<sup>17</sup>, ohne näher

---

<sup>11</sup> <http://www.forensicfocus.com/dissecting-ntfs-hidden-streams> [12.09.2013]

<sup>12</sup> Grabungsrichtlinien Bayern

<sup>13</sup> Grabungsrichtlinien Bayern, 25

<sup>14</sup> Grabungsrichtlinien Rheinland-Pfalz, 25

<sup>15</sup> Grabungsrichtlinien Rheinland-Pfalz, 29

<sup>16</sup> siehe: [http://h10025.www1.hp.com/ewfrf/wc/document?cc=us&lc=en&dlc=en&tmp\\_geoLoc=true&docname=lpg40081](http://h10025.www1.hp.com/ewfrf/wc/document?cc=us&lc=en&dlc=en&tmp_geoLoc=true&docname=lpg40081) [13.09.2013]

<sup>17</sup> Verband der Landesarchäologen 1999, 16

auf die Datenträgerformate einzugehen. Er sieht das Problem als „bislang ungelöst“ und sieht die Denkmalämter in der Verpflichtung, die im Rahmen der Digitalen Dokumentation „erfassten Daten regelmäßig zu prüfen und auf aktuelle Datenspeicher zu sichern.“ Dem „Leitfaden zur Anwendung von Informationstechnik in der archäologischen Forschung“<sup>18</sup> des DAI wird bezüglich einer langfristigen Sicherung von Daten darauf hingewiesen, dass „bei der Ausmusterung jeder Hardwareplattform und der Stilllegung jedes Softwareprodukts eine explizite Entscheidung stattfinden“ sollte, „ob dadurch bestehende Datenbestände unbenutzbar werden“ und, anhand dieser dann bestimmt werden sollte, ob „ein gezielter Akt der ‚Rettung durch Migration‘ für diese Daten veranlasst wird“<sup>19</sup>. Auch wenn sich dieser Abschnitt in erster Linie auf Dateiformate bezieht, wurde mit der „Ausmusterung jeder Hardwareplattform“ auch die Problematik des Dateisystems angegangen - zumindest, sofern auch der Austausch und somit die Ausmusterung von Laufwerken hier mit eingeschlossen ist. Das Migrieren, also das Kopieren auf aktuelle Datenspeicher könnte zu Datenverlusten ähnlich wie im oben angeführten Beispiel beschrieben führen. In Anbetracht einer nur begrenzten Haltbarkeit von Datenträgern aller Art, ist das Anfertigen von Kopien allerdings grundsätzlich eine gute Idee, jedoch muss zwingend eine Überprüfung der kopierten Daten erfolgen.

#### 3.1.2 Dateiformate und Programme

Sind die Hürden *Kompatibilität* und *Benutzbarkeit des Dateisystems* genommen, steht der Benutzer einem anderen Problem gegenüber, das nicht nur im archäologischen Kontext anzutreffen ist, sondern in fast jedem Bereich auftritt, in dem Dateien ausgetauscht oder über einen längeren Zeitraum verwendet werden: die Heterogenität der Dateiformate. Es handelt sich hierbei jedoch nicht um die Heterogenität, die den unterschiedlichen Datenarten und der Tatsache geschuldet ist, dass sich zum Beispiel Bilddaten nicht in eine Struktur speichern lassen, die für Text ausgelegt ist, sondern um die Diversität an Formaten, die letztendlich die gleiche Art von Daten aufnimmt. Im Laufe der Jahre, in denen sich der Computer von den einstigen, raumfüllenden Großrechenanlagen zu kompakten und äußerst leistungsfähigen Geräten entwickelte, die in jedem Bereich des täglichen Lebens eingesetzt werden, entstanden durch stetige Weiterentwicklungen immer neue Einsatzmöglichkeiten und somit auch neue Datenstrukturen, die in einem speziell hierfür ausgelegten Format gesichert werden mussten.

---

<sup>18</sup> Dally – Komp 2011b, 59

<sup>19</sup> Dally – Komp 2011b, 59

Der beständige Fortschritt in der Computertechnologie brachte bis heute eine große Anzahl an unterschiedlicher Hardware, Betriebssystemen und Programmen mit sich, die ihrerseits eine unüberschaubare Menge an Dateiformaten hervorgebracht haben. Eine Auswahl zu treffen, welche Formate für die Archäologie eine Rolle spielen, ist nahezu unmöglich, da ihr interdisziplinärer Charakter jede erdenkliche Form von Daten verursachen kann<sup>20</sup>. Auch die Beschränkung auf alle aus einer Ausgrabung resultierenden Formate gelingt nicht, zu umfangreich ist das über die Jahrzehnte gewachsene Angebot für jeden Bereich. Auch wenn viele der Formate mittlerweile obsolet sind, sollte man nicht außer Acht lassen, dass diese in digitalen Archiven durchaus noch vorhanden sein können, sollte keine regelmäßige Datenpflege in Form von Konvertierungen in ein aktuelles Dateiformat betrieben worden sein. In diesem Fall kann es zu Problemen kommen, möchte man ein solches Format mit einem aktuellen Programm öffnen<sup>21</sup>.

Die Aufgabe des Dateiformats ist es, die Information zu liefern, wie der in einer Datei gesicherte Datenstrom zu interpretieren ist. Man kann die Aussage zu einem Format als eine Art Schlüssel zur Lesbarkeit der Daten ansehen, ohne den die Daten zwar weiterhin vorhanden sind, jedoch nicht in Information umgewandelt werden können. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Dateiendung nur als ersten Hinweis auf das Dateiformat betrachtet werden kann, diese jedoch in keinem Fall als eindeutiges Identifikationsmerkmal hierfür angesehen werden darf. Jedes Betriebssystem erlaubt eine schlichte Umbenennung der Datei, beziehungsweise deren Endung, so dass die Datei hierdurch unbrauchbar werden würde. Die gängige Strategie zur Ausweisung des Formates ist, am Anfang der Datei einen festen Bereich für die Formatangaben zu reservieren.

Die meisten kommerziell eingesetzten Programme verfolgen eigenen Strategien und speichern die mit ihnen erzeugten oder verarbeiteten Daten in proprietären Formaten ab, deren Struktur und Spezifikationen nicht öffentlich zugänglich sind. Da im Vergleich zu OpenSource Software der programminterne Umgang mit Daten, also auch das Speichern und Laden derselben, bei kommerziellen Programmen nicht einsehbar ist, ist der Benutzer davon Abhängig, dass die Herstellerfirma auch in der Zukunft die Lesbarkeit dieser Formate gewährleistet, was nicht garantiert werden kann. Diese Abhängigkeit haben Denkmalämter und Kommissionen<sup>22</sup>, die sich mit der Langzeitnutzbarkeit von Daten auseinandersetzen, folgerichtig erkannt und ermahnen dazu, grundsätzlich<sup>23</sup> und auch im speziellen Falle der

---

<sup>20</sup> Neuroth et al. 2012, 161ff

<sup>21</sup> Rohde-Enslin 2005, 5-9

<sup>22</sup> Im Besonderen zu erwähnen ist das deutsche Kompetenznetzwerk zur digitalen Langzeitarchivierung *nestor*: <http://www.langzeitarchivierung.de> [20.09.2013]

<sup>23</sup> Dally – Komp 2011b, 6 und Dally et al. 2012, 164ff

Ausgrabungsdaten<sup>24</sup> die gespeicherten Daten nicht nur in proprietären, sondern auch in offenen Formaten einzureichen. Bei letzteren wurde die gesamte Verwaltungsstruktur der Daten veröffentlicht, so dass sich anhand dieser auch nachträglich und ohne zwingend das zur Erzeugung eingesetzte Programm benutzen zu müssen der Lesevorgang konstruieren lässt. Die Zugänglichkeit und Interpretierbarkeit der einzelnen Datensätze innerhalb der Datei wäre somit gewährleistet, auch wenn beispielsweise neue Versionen von proprietären Programmen die unter älteren Versionen abgespeicherten Dateien nicht mehr unterstützen oder wenn die Entwicklung komplett eingestellt wird und das Programm auf neuer Hardware oder neuen Betriebssystemen nicht mehr lauffähig ist.

Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über die für die Grabungsdokumentation relevanten Datenarten und deren digitalen Formate gegeben werden<sup>25</sup> - aus den oben genannten Gründen ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Neben den gängigen proprietären Formaten wird zudem auf offene Alternativen zu diesen eingegangen. Da einige der anfallenden Dateiformate in direkter Weise von den eingesetzten Softwarelösungen abhängen und vor allem im Bereich 3D-Vektordaten und Datenbanken große Unterschiede bestehen, wie Daten abgebildet und gespeichert werden, und so keine konkreten Dateiformate angeführt werden können, sollen im Einzelfall die eingesetzten Programme näher erläutert werden.

#### 3.1.2.1 Bilddaten

Mit der Markteinführung von Digitalkameras und deren Nutzung für die archäologische Forschung entstand auf Ausgrabungen erstmalig umfangreiches, digitales Material, das in großen Teilen dessen analoges Pendant abbilden konnte. Mittlerweile gibt es moderne, hochauflösende Digitalkameras, die einen annähernd vollwertigen Ersatz für die Analogfotografie darstellen und darüber hinaus noch zusätzliche Vorteile bieten wie das automatisierte Speichern von Informationen zum Kameramodell, Objektiv oder trivial anmutenden Daten wie Zeit und Datum der Aufnahme, die bei der Analogfotografie nur durch zusätzliche Arbeit und einen erhöhten Verwaltungsaufwand möglich sind.

Die Anforderung an ein Format zur Speicherung der Daten ist durch die Art der Aufnahme gegeben, wie sie im Kapitel Fotografie und Photogrammetrie beschrieben wurde. Jede Kamera moderne Kamera bietet zwei unterschiedliche Arten an Dateiformaten, von denen eine die Daten ohne jegliche Weiterverarbeitung aufnimmt, die andere diese Rohdaten bereits verarbeitet speichert und zum Beispiel durch Kompression den Platzverbrauch eines

---

<sup>24</sup> siehe und Grabungsrichtlinien Rheinland-Pfalz, 29f und Verband der Landesarchäologen 1999, 17

<sup>25</sup> siehe Häuber – Schütz 2004, 20-28 und Rohde-Enslin 2005, 10-27

Bildes auf der eingelegten Speicherkarte verringert. Die letztgenannte Art ist in der Regel verlustbehaftet, das heißt, es gehen durch die Verarbeitung Informationen verloren, was, wie bereits festgestellt wurde, unter allen Umständen vermieden werden sollte.

Das prominenteste Beispiel für ein verlustbehaftetes Dateiformat ist das JPG- oder JPEG-Format<sup>26</sup>, das im August 1990 als ISO<sup>27</sup>-Norm aufgenommen wurde<sup>28</sup> und dessen Definition seit 1992 unverändert vorliegt<sup>29</sup>. Eine spätere Erweiterung dieser Norm erlaubt zwar die verlustfreie Speicherung der Bilddaten und es existiert zudem eine Erweiterung des Standards, der eine Rekonstruktion der ursprünglichen Bilddaten ermöglicht<sup>30</sup>, jedoch ist nur der ursprüngliche, verlustbehaftete Standard (die sogenannte *baseline*-Definition) patentfrei<sup>31</sup> und im vollen Umfang uneingeschränkt nutzbar.

Das Rohdatenformat einer Kamera ist eine 1:1 Abbildung der Daten, wie sie die CCD-Sensoren empfangen. Es werden keinerlei kamerainternen Optimierungen und Umwandlungen vorgenommen, weshalb es sich hierbei um unverfälschte, verlustfreie Daten handelt. Dadurch erscheint dieses Format auf den ersten Blick gut geeignet, um es für die Dokumentation einer Ausgrabung zu verwenden, was jedoch auf längerer Sicht zu Problemen bei der Interpretierbarkeit der Daten führen kann. Auch wenn man im allgemeinen vom *Rohdaten*- oder *RAW*-Format spricht, ist dies in keinsten Weise ein standardisiertes, einheitliches Format, da die Datenstruktur direkt von den Herstellern und der in der Kamera verbauten Hardware abhängig ist<sup>32</sup>. Es handelt sich hierbei vielmehr um die Gesamtmenge an proprietären Herstellerformaten, die nicht nur bei einer Verarbeitung, sondern auch bereits beim Versuch, die Bilder anzusehen, eine Software oder einen Konverter vonnöten macht, die die jeweiligen Formate interpretieren kann. Dies macht die Rohdaten für eine Langzeitarchivierung unbrauchbar. Im zweiten Teil, dem Praxisratgeber, des „Leitfadens zur Anwendung von Informationstechnik in der Archäologischen Forschung des DAI wird folgerichtig darauf hingewiesen, dass die Dateien „in TIFF umgewandelt werden“<sup>33</sup> müssen. „Für Langzeitarchivierung sind Bilddaten generell unkomprimiert und in Formaten abzule-

---

<sup>26</sup> Rohde-Enslin 2005, 14-15: Der eigentliche Name des Formates lautet JFIF (**J**PEG-**F**ile **I**nterchange **F**ormat).

<sup>27</sup> International Standards Organisation

<sup>28</sup> Rohde-Enslin 2005, 14

<sup>29</sup> Rohde-Enslin 2005, 14

<sup>30</sup> *Progressive JPG*

<sup>31</sup> Rohde-Enslin 2005, 14

<sup>32</sup> siehe Trinkwalder 2004

<sup>33</sup> Dally – Komp 2011b, 6

gen, die nicht an bestimmte Hersteller und Modelle gebunden sind“<sup>34</sup> heißt es dort weiter und als Vorschlag wird TIFF oder das DNG-Format angegeben.

Das TIFF<sup>35</sup>-Format entstand aus der Zusammenarbeit der Firma Aldus unter anderem mit Microsoft in den 1980er Jahren. Derzeit liegen die Besitzrechte bei der Firma Adobe. Es handelt sich folglich ebenfalls um ein proprietäres Format, dessen Definition und Struktur jedoch öffentlich zugänglich ist.<sup>36</sup> Im direkten Vergleich mit den Rohdaten sind Dateien im TIFF-Format um etwa 30% größer<sup>37</sup>, was der Interpolation geschuldet ist, die bei der Umwandlung in dieses Format stattfindet. Für eine längerfristige Archivierung sollte dies angesichts der heutzutage vorhandenen Speichermöglichkeiten und -mengen jedoch kein Ausschlusskriterium sein. TIFF bietet neben der verlustfreien auch verlustbehaftete Kompression, auf die in jedem Fall verzichtet werden sollte.

Mit dem DNG-Format<sup>38</sup> stellte Adobe im Jahr 2004 ein nach eigener Aussage nicht-prorietäres Format zum Speichern von Kamera-Rohdaten<sup>39</sup> vor. Die Intention ist, der großen Flut an herstellerspezifischen Rohdaten entgegenzuwirken und einen gemeinsamen Standard mit einer offen zugänglichen Formatbeschreibung<sup>40</sup> zu schaffen, durch die den in diesem Format gespeicherten Rohdaten auch langfristige Lesbarkeit zu gewährleisten<sup>41</sup>, ohne dass die Spezifikationen der zur Aufnahme verwendeten Kamera bekannt sein muss. Es handelt sich hierbei um eine Erweiterung des TIFF-Formats, das zu den eigentlichen Rohdaten zusätzliche Metadaten mit allen nötigen Informationen enthält, die die Rohdaten für verarbeitende Programme les- und interpretierbar machen.

Das DNG-Format wäre aufgrund der offenen Spezifikation und der Fähigkeit, Rohdaten unverfälscht abzuspeichern, die erste Wahl für eine langfristige Archivierung und sollte als Standardformat für die eingesetzte Kamera verwendet werden, sofern sie dies unterstützt. Liefert diese lediglich proprietäre Rohdaten, sollte eine Konvertierung in das TIFF-Format vorgenommen werden, da bei einer wegfallenden Unterstützung dieses Formats in einer

---

<sup>34</sup> Dally – Komp 2011b, 8

<sup>35</sup> **T**agged **I**mage **F**ile **F**ormat

<sup>36</sup> Rohde-Enslin 2005, 12

<sup>37</sup> Dally – Komp 2011b, 8

<sup>38</sup> **D**igital **N**egative

<sup>39</sup> DNG, ix: „The Digital Negative (DNG) Specification describes a non-proprietary file format for storing camera raw files that can be used by a wide range of hardware and software vendors.“

<sup>40</sup> [http://www.images.adobe.com/www.adobe.com/content/dam/Adobe/en/products/photoshop/pdfs/dng\\_spec\\_1.4.0.0.pdf](http://www.images.adobe.com/www.adobe.com/content/dam/Adobe/en/products/photoshop/pdfs/dng_spec_1.4.0.0.pdf) [23.09.2013]

<sup>41</sup> DNG, 12

neuen Version der Herstellersoftware, das hochspezifische Rohformat unter Umständen unlesbar werden kann<sup>42</sup>.

#### 3.1.2.2 Textdaten

Bei digitalen Textdaten fallen die Vorteile gegenüber ihres analogen Pendanten in Papierform besonders ins Gewicht: Eine Suche nach einer Textstelle in einem großen Archiv ist innerhalb von Sekunden abgeschlossen, so dass auch unsortierte und unstrukturierte Dokumente zumindest rudimentär für eine Auswertung verwendbar sind. Die Möglichkeiten zur Erstellung und Verarbeitung von Textdaten sind vielfältig und reichen von einfachen Editoren, die ohne Formatierung arbeiten, bis hin zu hochkomplexen und umfangreichen Textverarbeitungsprogrammen, über die unter anderem der Rohtext formatiert und dessen Darstellungsform frei definiert werden kann. Der vermutlich bekannteste Vertreter letztgenannter Programme ist Microsofts *Word*. Die Benutzung von Word oder vergleichbaren Softwarelösungen für die Grabungsdokumentation kann zahlreiche Probleme mit sich bringen, im Besonderen, wenn es sich bei dem gewählten Speicherungsformat um ein proprietäres handelt. Die bei der Benutzung der grafischen Oberflächen eingefügten Formatierungen sind häufig nicht nur mit anderen Programmen inkompatibel und somit unbenutzbar, sondern durch die nicht offengelegten Spezifikationen des Formats ist auch häufig die Rekonstruktion der Formatbefehle, wie sie in den Dateien gespeichert sind, unmöglich. Auch kann ein häufiges Ändern und Speichern der selben Datei in unterschiedlichen Programmen zu unerwünschten Effekten bei der Darstellung der Formatierung führen<sup>43</sup>.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass die Dateiendung keine Aussagekraft über das Dateiformat hat. Betrachtet man die Dateiendung *.doc*, ist ein weiteres Problem zu erkennen, selbst wenn die Datei nachgewiesenermaßen mit Microsoft Word gespeichert wurde. Im Verlauf der Entwicklung dieser Textverarbeitung wurde das Format teilweise grundlegend und ohne auf Abwärtskompatibilität zu achten<sup>44</sup> verändert, die Dateien jedoch lange Zeit mit der gleichen Endung versehen. Ein über Jahre angewachsenes Dokumentarchiv, das mehrere Programmversionen durchlebt hat, erscheint dadurch auf den ersten Blick zwar einheitlich, doch sofern beim Wechsel der Programmversionen nicht alle Dateien auf das neue Format portiert wurden, handelt es sich tatsächlich um eine heterogene Ansammlung

---

<sup>42</sup> DNG, 12: „Camera manufacturers sometimes drop support for a propriety raw format a few years after a camera is discontinued. Without continued software support, users may not be able to access images stored in proprietary raw formats and the images may be lost forever.“

<sup>43</sup> Dally – Komp 2011b, 37

<sup>44</sup> Rohde-Enslin 2005, 20



an Dateiformaten. Die zukünftige Lesbarkeit dieser Formate ist nicht gesichert und daher für eine Langzeitarchivierung ungeeignet<sup>45</sup>.

Das Speichern ohne Formatierung ist die sicherste Methode, Texte auch für die Zukunft ohne Probleme zugänglich und lesbar zu machen<sup>46</sup>, jedoch müssen auch bei dieser rudimentären Datensicherung gewisse Standards bestimmt sein. Im Verlauf dieser Arbeit wurde bereits der ASCII-Standard vorgestellt, dem eine Codetabelle zugrunde liegt, über die die darstellbaren Zeichen definiert sind. Sobald regionale Sonderzeichen wie die deutschen Umlaute gespeichert werden sollen, ist ein erweiterter Zeichensatz erforderlich. Das DAI empfiehlt in seinen IT-Richtlinien den Unicode-Standard, „der in der Lage ist, alle Alphabete - auch solche, die derzeit nicht mehr im Gebrauch aber für die archäologische Forschung wichtig sind -, darzustellen“<sup>47</sup>, so zum Beispiel auch archaische Alphabete wie Keilschrift<sup>48</sup> und Linear B<sup>49</sup>. Die Spezifikationen werden vom Unicode-Konsortium bereitgestellt und sind frei zugänglich<sup>50</sup>. Als Kodierungsschema, über das definiert ist, wie die Zeichencodes technisch festgehalten werden, wird UTF<sup>51</sup>-8 oder UTF-16 mit BOM<sup>52</sup> bestimmt<sup>53</sup>.

Das reine Textformat ist für die Grabungsdokumentation im Allgemeinen zwar ausreichend, durch eine Formatierung des Textes kann man allerdings mit einfachen Mitteln die Übersichtlichkeit erhöhen. Des weiteren steigern Annotationen, Fußnoten usw. den Informationsgehalt eines Textdokuments. Um dies zu realisieren bietet sich die Auszeichnungssprache XML<sup>54</sup> an. XML beschreibt eine grundlegende Struktur, auf deren Basis Schemata für verschiedene Anwendungsbereiche zur Verfügung stehen und auch selbst entworfen werden können. Die Datenstruktur besteht aus Text und sogenannten Tags, die Teilbereiche des Textes umschließen und über die so beispielsweise Anmerkungen zu diesem Bereich festgehalten werden können. OASIS<sup>55</sup> pflegt mit dem *OpenDocument*<sup>56</sup>

---

<sup>45</sup> Rohde-Enslin 2005, 20

<sup>46</sup> Dally – Komp 2011b, 37

<sup>47</sup> Dally – Komp 2011b, 37. Die Aussage, dass die Alphabete dadurch *dargestellt* werden können, stimmt so nicht. Die Zeichen können eindeutig *kodiert* werden, jedoch wird ein entsprechender Zeichensatz benötigt, um den Zeichencode in das entsprechende Zeichen übersetzen und somit darstellen zu können.

<sup>48</sup> Tafel 20

<sup>49</sup> Tafel 21

<sup>50</sup> <http://www.unicode.org/> [24.09.2013]: „Our freely-available specifications and data form the foundation for software internationalization in all major operating systems, search engines, applications, and the World Wide Web.“

<sup>51</sup> Universal Multiple-Octet Coded Character Set (UCS) Transformation Format

<sup>52</sup> Die Byte Order Mark definiert, in welcher Reihenfolge die beiden Bytes von UTF-16 gelesen werden müssen.

<sup>53</sup> Dally – Komp 2011a, 7

<sup>54</sup> Extensible Markup Language

<sup>55</sup> Organization for the Advancement of Structured Information Standards

<sup>56</sup> <https://www.oasis-open.org/standards#opendocumentv1.2> [20.09.2013]

einen offenen Standard speziell für Textverarbeitungsprogramme, in welchem unter anderem Definitionen für die Formatierung festgelegt sind. Auch hier sorgen die frei zugänglichen Spezifikationen und das für den Menschen lesbare Textformat für eine längerfristige Sicherung der Lesbarkeit und Interpretierbarkeit. Neben dem PDF-Format, das allerdings nur in der Spezifikation PDF/A, die z.B. externe - also verlinkte - Ressourcen wie Bilder oder Schriftarten untersagt und diese nur im Dokument eingebunden zulässt, den Anforderungen einer Langzeitarchivierung genügt<sup>57</sup>, sehen die DAI-Richtlinien das OpenDocument-Format als zukunftssicher an und empfehlen dessen Verwendung<sup>58</sup>.

Für die Auszeichnung sprachlicher Informationen in Textdateien ist das TEI<sup>59</sup>-Format von Interesse. Dieser auf XML basierte, offene Standard wird vom TEI-Konsortium gepflegt<sup>60</sup> und bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten, Textanalysen vorzunehmen und festzuhalten. Im Rahmen der Grabungsdokumentation könnten hiermit beispielsweise digital vorliegende Befundbeschreibungen aufgearbeitet werden und innerhalb dieses Vorgangs Befundnummern, Bodenbeschaffenheiten, Befundformen und so weiter annotiert werden. Im Anschluss können die so markierten und separierten Informationen zur automatischen Weiterverarbeitung genutzt werden<sup>61</sup>.

#### 3.1.2.3 2D- und 3D-Vektordaten

Formate, die für die Speicherung für 2D-Vektordaten eingesetzt werden, werden häufig im Zusammenhang mit Bilddaten angeführt, wo sie als Gegenpart zu den Rasterdaten Erwähnung finden, die das Ergebnis der digitalen Fotografie und dem Benutzen von Papierscannern darstellen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in der IT Grafik in diese beiden Typen klassifiziert ist<sup>62</sup> und diesen eine komplett andere Datenstruktur zu Grunde liegt, die in der Regel auch von unterschiedlicher Software verarbeitet wird. Im Gegensatz zu den Rasterdaten und dessen Formaten, auf die schon im Abschnitt Bilddaten eingegangen wurde, bestehen die Daten nicht aus Einzelpunkten und deren Farbwerten, die im Raster angeordnet ein Gesamtbild formen, sondern setzen sich aus primitiven geometrischen Formen

---

<sup>57</sup> [http://www.callassoftware.com/callas/doku.php/de:pdfakompakt:kapitel\\_1](http://www.callassoftware.com/callas/doku.php/de:pdfakompakt:kapitel_1) [24.09.2013]

<sup>58</sup> Dally – Komp 2011a, 7

<sup>59</sup> Text Encoding Initiative

<sup>60</sup> <http://www.tei-c.org/> [20.09.2013]

<sup>61</sup> Dally – Komp 2011a, 7

<sup>62</sup> siehe u.a.: <http://lp.uni-goettingen.de/get/text/6355> [10.10.2013]

wie Punkten, Linien, Kreisen oder Polygonen zusammen<sup>63</sup>. Die einzelnen Punkte dieser Formen sind mit „Koordinaten (Lage), Richtung und Länge beschrieben“<sup>64</sup>.

In dieser Arbeit werden die Formate der 2D-Vektorgrafik bewusst nicht im Abschnitt Bilddaten behandelt, da diese nicht zum Speichern der Informationen von digitalen Fotografien eingesetzt werden können. Vielmehr sind die 2D-Vektorgrafik-Formate ideal dafür geeignet, 2D-Planzeichnungen abzubilden, und die Basis der Datenstruktur lässt sich auch in den 3D-Raum übertragen. Der DAI-Leitfaden führt Vektordaten vorwiegend im Rahmen der Verwendung- zur Oberflächen und Geländemodellierung an<sup>65</sup> und geht ausschließlich auf Datenformate für die dreidimensionale Abbildung ein<sup>66</sup> und auch im kurzen Abschnitt *Vektorgrafik*<sup>67</sup>, der von Gelände- und 3D-Modellen abhebt, die getrennt behandelt werden, wird lediglich auf 3D Formate verwiesen, da die hier angeführte Software AutoCAD für drei Dimensionen ausgelegt ist und somit auch bei eigentlich ebenen Objekten Informationen zur dritten Dimension vorhanden sein können, die es selbstverständlich zu erhalten gilt.

Auch wenn diese Formate 2D-Vektordaten abdecken können, da der 2D-Raum eine Untermenge des 3D-Raumes darstellt, so solle an dieser Stelle dennoch auf ein reines 2D-Grafikformat hingewiesen werden, da dies für die noch folgende Diskussion bezüglich der Digitalisierung der zeichnerischen Dokumentation eine Rolle spielt. Das W3C<sup>68</sup> stellt mit dem SVG<sup>69</sup>-Format einen quelloffenen Standard<sup>70</sup> zur Verfügung, das zweidimensionale Grafiken im XML-Format abbilden kann<sup>71</sup>. Wie schon im vorherigen Kapitel festgestellt, sind auch hier die Offenlegung und Pflege des Standards und die auf XML basierte Datenstruktur ein Garant für eine zukünftige Nutzung und Interpretierbarkeit des Formats. Das Format unterstützt neben der Darstellung der elementaren geometrischen Formen eine Vielzahl an Möglichkeiten wie beispielsweise das Einfügen externen Grafiken oder Animationen, auf die jedoch nicht näher eingegangen werden soll. Vorausblickend auf die Digitalisierung von Zeichnungen ist es jedoch von Interesse, dass jedes Element mit einem eindeutigen Bezeichner, einer ID versehen werden kann. Es ist daher möglich, jedes einzelne Element direkt anzusprechen und beispielsweise mehrere zu einer Gruppe zusammenzufassen.

---

<sup>63</sup> Tafel 22

<sup>64</sup> Häuber – Schütz 2004, 27

<sup>65</sup> Dally – Komp 2011b, 31ff und 14ff

<sup>66</sup> Dally – Komp 2011a, 9

<sup>67</sup> Dally – Komp 2011a, 8

<sup>68</sup> World Wide Web Consortium, <http://www.w3.org> [10.10.2013]

<sup>69</sup> Scaleable Vector Graphics

<sup>70</sup> <http://www.w3.org/TR/SVG> [10.10.2013]

<sup>71</sup> <http://www.w3.org/TR/SVG/intro.html> [10.10.2013]: „SVG is a language for describing two-dimensional graphics in XML.“

Seit den 1990er Jahren<sup>72</sup> wurde auf Ausgrabungen zunehmen auch EDV zur Aufnahme von 3D-Daten eingesetzt. Das eigentlich als Konstruktionssoftware<sup>73</sup> von der Firma Autodesk<sup>74</sup> entwickelte *AutoCAD*<sup>75</sup> hat sich in diesem Bereich nicht nur für die Archäologie zum Quasistandard<sup>76</sup> entwickelt. Besonders erwähnenswert für die Ausgrabungsdokumentation sind zwei auf dieser Software basierte Erweiterungen: *TachyCAD* der Firma Kubit<sup>77</sup> und *ArchäoCAD* der Firma ArcTron<sup>78</sup>. Erstgenannten erweitert den Umfang von AutoCAD um speziell für Tachymetervermessung ausgelegte Funktionen<sup>79</sup>, letztere Software beschränkt neben der Einführung von speziell für die Archäologie ausgelegten Werkzeugen dessen vielfältigen und umfangreiche Funktionen auf die für den Fachbereich relevanten<sup>80</sup>. Das Format zur Speicherung der 3D-Daten wird in beiden Fällen jedoch von *AutoCAD* selbst gestellt, wobei das proprietäre, Autodesk-eigene DWG-Format, das die Daten binär und somit für den Menschen nicht lesbar speichert, in der DAI-Richtlinie zwar für Vektorgrafiken als eines der zu verwendenden Formate angeführt wird<sup>81</sup>, in Bezug auf 3D-Modelle dieses jedoch dort keine Erwähnung findet<sup>82</sup>. Stattdessen werden für eine sichere Speicherung von 3D-Modellen der XML-basierte, offene Standard X3D<sup>83</sup>, dessen Vorgänger VRML<sup>84</sup> oder auch das ebenfalls als offener Standard geführte Format U3D<sup>85</sup> empfohlen. Am gängigsten und von den meisten Programmen lesbar ist allerdings das DXF-Format, das von *Autodesk* gepflegt wird und auch offen einsehbar ist. Im Sinne der Langzeitarchivierung sollte aber auf jeden Fall eines der angeführten Formate auf XML-Basis gewählt werden.

#### 3.1.2.4 Datenbanken

Elektronische Tabellen erleichtern die verwaltungstechnische Arbeit ungemein - nicht nur im Rahmen der Durchführung einer Grabung. Die Möglichkeit zur nachträglichen Korrektur von Einträgen des schnellen, automatisierten Sortierens und Suchens im Datenbestand machen

---

<sup>72</sup> Dally – Komp 2011b, 34

<sup>73</sup> Kirschfink 2008, 10

<sup>74</sup> <http://www.autodesk.de> [10.10.2013]

<sup>75</sup> **Computer Aided Design**

<sup>76</sup> Dally – Komp 2011a, 8

<sup>77</sup> <http://kubit.de/CAD/Produkte/TachyCAD/index.php> [25.09.2013]

<sup>78</sup> <http://www.arctron.de/de/produkte/software/archaeocad/> [25.09.2013]

<sup>79</sup> Kirschfink 2008, 64f

<sup>80</sup> Kirschfink 2008, 19

<sup>81</sup> Dally – Komp 2011a, 8

<sup>82</sup> Dally – Komp 2011a, 9

<sup>83</sup> <http://www.web3d.org/realtime-3d/x3d/what-x3d> [10.10.2013]

<sup>84</sup> <http://www.web3d.org/x3d/specifications/#vrm197> [10.10.2013]

<sup>85</sup> <http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-363.htm> [10.10.2013]

sie in der heutigen Zeit unverzichtbar in fast jedem Bereich des täglichen Lebens. Möchte man mehrere alleinstehende Tabellen miteinander verknüpfen, beziehungsweise die für den Menschen möglicherweise klar ersichtlichen Relationen auf digitaler Ebene festhalten, bedarf es eines Modells, das mehrere unterschiedliche, tabellarische Daten aufnehmen kann: die Datenbanken.

Datenbanken spielen für die Grabungsdokumentation eine zentrale Rolle, da sie die verschiedenen Datensätze, die im Laufe der Ausgrabung anfallen, miteinander verbinden. Auf der technischen Seite besteht eine solche Datenbank aus zwei Bereichen<sup>86</sup>: Die Basis bildet die *physische Ebene*, innerhalb der unter anderem geregelt wird, in welcher Struktur die Datensätze auf dem Datenträger abgelegt werden. Des weiteren ist sie für die Lokalisierung des Speicherbereichs zuständig, in dem sich ein Datensatz befindet. Über dieser hardware-nahen Ebene befindet sich die *logische Ebene*, in der das sogenannte Datenbankmodell definiert ist. Datenbankmodelle bestimmen den Zugang zu den Daten und die Art, wie die einzelnen Datensätze in der Datenbank hinterlegt sind. In der Entwicklungsgeschichte der Datenbanken wurden unterschiedliche Modelle eingesetzt, von denen das aktuell wichtigste das bereits 1970 eingeführte<sup>87</sup> *Relationale Modell* ist. Im Vergleich zu dessen Vorgängern arbeitet dieses mit Tabellen, in denen die entsprechenden Datensätze abgelegt werden. Bekannte relationale Datenbankmanagementsysteme sind Access von Microsoft oder Filemaker<sup>88</sup>, die beide proprietär - und somit kostenpflichtig - und zudem nur auf Windows- und Mac-Systemen lauffähig sind. Für die Open-Source-Systeme sollen stellvertretend MySQL<sup>89</sup> und PostgreSQL<sup>90</sup> genannt werden, die auf allen Systemen benutzbar sind und vor allem im Bereich der Webentwicklung Einsatz finden.

Während die beiden kommerziellen Systeme bereits von Haus aus eine Oberfläche bieten, mit der sich Tabellenstrukturen und Relationen zueinander designen lassen, bieten MySQL und PostgreSQL nur die technische Seite für die Verwaltung von Tabellen. Damit der Benutzer effektiv mit den Daten arbeiten kann, muss diesem eine Oberfläche bereitgestellt werden, die über eine auf die Datenbankstruktur angepasste Schnittstelle mit dem Datenbankmanagementsystem kommunizieren kann. Dieser Zugriff funktioniert über eine offene, standardisierte Sprache namens SQL<sup>91</sup>, die eponym für die Systeme ist.

---

<sup>86</sup> Häuber – Schütz 2004, 38f

<sup>87</sup> Häuber – Schütz 2004, 40

<sup>88</sup> <http://www.filemaker.de/products/filemaker.html> [10.10.2013]

<sup>89</sup> <http://dev.mysql.com/downloads/mysql/> [10.10.2013]: Neben der kostenlosen Version existiert zudem eine kostenpflichtige „Enterprise Edition“.

<sup>90</sup> <http://www.postgresql.org/> [10.10.2013]

<sup>91</sup> Structured Query Language

In allen Fällen muss jedoch die Struktur der einzelnen Tabellen in den Datenbanksystemen für das jeweilige Anwendungsgebiet selbst entworfen werden<sup>92</sup>, sofern keine Vorlage hierfür bereitgestellt wird. Genau diese Struktur und die darauf aufbauende Verwaltungsoberfläche machen eine generelle Aussage zur langfristigen Sicherung von Grabungsdatenbanken schwierig. Zwar sind die elementaren Anforderungen an die Grabungsdokumentation und eine damit verbundene Datenbank gut bestimmbar, die Möglichkeiten, die anfallenden Informationen in einer solchen Datenbank zu sichern sind jedoch vielfältig. Betrachtet man als Beispiel eine Datums- oder Zeitangabe, so lässt sich diese auf mehrere Arten digital abbilden. Im einfachsten Falle kann dies als Text, also einer nicht näher definierten Folge von Zeichen bewerkstelligt werden. Beim Design der Datenbankstruktur muss für jede Spalte einer Tabelle ein Datentyp<sup>93</sup> definiert werden, über den bestimmt wird, wie die darin gespeicherten Informationen formatiert sein müssen. Wird die Datumsspalte nun als Textfeld definiert, so kann die Datumsangabe zwar problemlos und für den Menschen ohne Verlust an Informationsgehalt gespeichert werden, doch wird dadurch ermöglicht, dass neben Zeit- und Datum auch jegliche Art von anderem Text darin abgelegt werden kann. Es kann so zu einer Inkonsistenz kommen, indem dieses Feld missbräuchlich benutzt wird. Inkonsistenzen sind unbedingt zu vermeiden<sup>94</sup>, da die Vorteile, die eine Datenbank mit sich bringt, wie ein schnelles Suchen, das Sortieren oder das Verknüpfen mehrerer Tabellen, hierdurch unter Umständen nur noch eingeschränkt nutzbar sind oder gar ganz entfallen. Für die Aufnahme von reinen Datumsangaben bietet jedes Datenbanksystem einen entsprechenden Datentypen, durch dessen Benutzung die Dateninkonsistenz in diesem Falle verhindert werden kann.

Schwieriger gestaltet sich hier ein für die Grabungsdokumentation pragmatischer Fall, wenn es zum Beispiel um die Speicherung von Befundnummern und Bezeichnungen von Plänen geht. Die Vergabe von Befundnummern hält sich in der Regel an die bereits im Namen verankerte, rein numerische Bezeichnung der Befunde. Unter Umständen sieht man sich jedoch gezwungen, das angestrebte Schema auf ein alphanumerisches zu erweitern. Eine Datenbank, die dies jedoch nicht vorsieht und durch die Tabellendefinition bedingt auf eine nur aus Ziffern bestehende Eingabe beharrt, kommt hier in ernsthafte Schwierigkeiten. Auch das klassische Benamungsschema von Plana- und Profilzeichnungen wird nur durch ein alphanumerisches Feld zur Genüge abgedeckt.

---

<sup>92</sup> vgl. Dally – Komp 2011b, 45

<sup>93</sup> Eine Übersicht über die von MySQL unterstützten Datentypen ist im Referenzhandbuch hierzu zu finden: <http://dev.mysql.com/doc/refman/5.1/de/data-types.html> [29.09.2013]. Zu Datentypen siehe auch: Häuber – Schütz 2004, 20f

<sup>94</sup> Häuber – Schütz 2004, 39

Erweitert man dieses anhand der beiden Beispiele aufgedeckte Problem auf den gesamten Datenbestand einer Ausgrabung, wird verständlich, weshalb es zur Gewährleistung der Lesbarkeit unabdingbar ist, neben den eigentlichen Datenbankdaten, dem Schema der Tabellen und dem eingesetzten System zusätzlich

Erschwerend hinzu kommt, dass über die Jahre, in denen der Computer zum hauptsächlichen Werkzeug für die Verwaltung von Listen und Tabellen benutzt wird, viele Ämter, Behörden und Institutionen eigene Datenbanklösungen entwickelten, die zwar rein theoretisch den gleichen Inhalt haben, jedoch durch die oben erwähnte freie Gestaltbarkeit der Datenbankstruktur nicht kompatibel sind. Zudem haben die verschiedenen altertumswissenschaftlichen Disziplinen nicht nur einen unterschiedlichen Fokus bezüglich der Ergebnisse, die eine Datenbank mit sich bringt, sondern auch die länder- und kulturspezifische Unterschiede tragen zur Heterogenität der Datenbanken bei. Ein Austausch von Datensätzen oder eine Zusammenführung zweier Datenbanken ist daher oftmals nur durch einen großen Arbeitsaufwand möglich. Dally, Fless und Förtsch bemängeln die derzeit noch fehlenden Minimalstandards im Bereich der „altertumswissenschaftlich-archäologischen Forschungsdaten“<sup>95</sup> und fordern eben diese, „um die heterogenen Primärforschungsdatenbestände auch langfristig noch analysieren, erfassen und kategorisieren zu können.“<sup>96</sup>

Auch die DAI-Vorgaben sehen vor, dass neben den eigentlichen Datenbankdaten zusätzliche Angaben nötig sind, um deren Interpretierbarkeit und die Wiederherstellung sämtlicher Informationen zu gewährleisten<sup>97</sup>. Die oben erwähnten Zusammenhänge der Tabellen, die vom sogenannten Backend, wie man die programmierte Schnittstelle zwischen der Datenbank und der Benutzeroberfläche (Frontend) bezeichnet, über die SQL-Abfragesprache hergestellt werden, sind besonders hervorzuheben. Das DAI empfiehlt einen Datenbankauszug als XML-Datei und dazugehöriger, dokumentierter DTD<sup>98</sup>, einer zusätzlichen Datei, in der die Datenbankstruktur und die Relationen der Felder und Tabellen untereinander gespeichert werden können. Der *nestor*-Ratgeber empfiehlt einen regelmäßigen Export als CSV<sup>99</sup>-Datei, in der die Werte der Tabellenfelder durch Kommata oder einem anderen Zeichen getrennt in Reintext gespeichert werden<sup>100</sup>. Hiermit können jedoch die Zusammenhänge der Tabellen nicht erfasst werden. Die XML-Lösung ist in jedem Falle vorzuziehen.

---

<sup>95</sup> Dally et al. 2012, 164

<sup>96</sup> Dally et al. 2012, 165

<sup>97</sup> Dally – Komp 2011a, 10

<sup>98</sup> **D**ocument **T**ype **D**efinition

<sup>99</sup> **C**omma **S**eperated **V**alues

<sup>100</sup> Neuroth et al. 2009, 27

## 3.2 Haltbarkeit von Daten und Datenträgern

Gerade in der Archäologie ist die Frage nach der Haltbarkeit von Daten von besonderer Bedeutung. Wie eingangs bereits erwähnt hat die Wissenschaft einen zerstörenden Charakter und die aufgenommenen Daten sind oftmals alles, was von einem untersuchten Bodendenkmal übrig ist. Die Dokumentation einer Grabung wird „zur einmaligen Primärquelle“<sup>101</sup>.

Die Haltbarkeit von Informationen ist abhängig vom Kontext und den Daten, aus denen sie hervorgehen. Sie sind nur so lange verfügbar, wie man beide Komponenten korrekt zusammenbringen kann. Sehr gut ersichtlich wird dies, wenn man die im vorhergehenden Kapitel beschriebene Situation zum Thema Datenbanken betrachtet. Eine konkrete Aussage zu einem Zeitpunkt zu treffen, an dem Informationen verloren gehen, ist nicht möglich, was jedoch für die zu Grunde liegenden Daten durchaus möglich ist. Zum einen wären da die bereits bei der Abhandlung der Dateiformate beschriebene Problematik der unterschiedlichen Dateiformate, durch die die Haltbarkeit von der Unterstützung von Programmen und den unter Umständen dahinter stehenden Firmen beeinträchtigt werden kann, zum anderen müssen die Daten letztendlich auf irgendeiner Art von Datenträger abgelegt werden. Für diese gibt es recht konkrete Aussagen darüber, wie lange ein solcher funktionsfähig bleibt. Dies muss bei der Einreichung und der anschließenden Archivierung von Daten zwingend berücksichtigt werden.

Der DAI-Leitfaden schreibt hier vor, dass Probleme, die bei einer Langzeitarchivierung bei der eingesetzten Hardware auftreten könnten, berücksichtigt werden sollten. „Dies soll im Rahmen einer komplexen Backupstrategie aufgrund der durch den Hersteller der verwendeten Datenträger angegebenen Lebensdauer und eigens durchgeführter stichprobenartiger Tests geschehen.“<sup>102</sup>. Diese erstaunlich wage gehaltene Aussage des Praxisratgebers findet sich auch in den verbindlichen Vorgaben des DAI wieder. Dort heißt es, dass die „elektronischen Daten nur dann mittelfristig sicher sind, wenn sie mehr als einmal gespeichert sind und in kontrollierter Form in kurzen Zeitabständen auf neue Speichermedien migriert werden.“<sup>103</sup>. Im weiteren Verlauf werden Backups durch den Benutzer und als dazu einsetzbare Medien „je nach Datenumfang nur CD, eingeschränkt DVD und insbesondere (externe) Festplatten“<sup>104</sup> nahegelegt. Eine Speicherung auf dem Abteilungsserver käme nur im Einzelfall in Frage. Im Rahmen einer Langzeitarchivierung wird die Übergabe in ein Repositorium als zwingend

---

<sup>101</sup> Dally et al. 2012, 162

<sup>102</sup> Dally – Komp 2011b, 60

<sup>103</sup> Dally – Komp 2011a, 11

<sup>104</sup> Dally – Komp 2011a, 12



angesehen, wobei an dieser Stelle nicht beschrieben wird, was sich dahinter für Technik oder für Sicherheitsmechanismen verbergen. Die Langzeitarchivierung sei „derzeit noch Gegenstand umfangreicher Diskussionsprozesse“<sup>105</sup>. Im Anhang des DAI-Praxisratgebers findet man hierzu eine Ergänzung: Langfristig werden Daten auf einem „SAN-(Storage Area Network)-Online-Speicher der Firma IBM oder aber auf mehrfach redundanten Tivoli-Bandlaufwerksservern der Firma IBM“<sup>106</sup> gesichert. Hier ist auch eine konkrete Aussage zur Haltbarkeit der Datenträger der Bandlaufwerke getroffen: IBM sichert diese für 15 Jahre vertraglich zu. Dass in diesem Zeitraum eine weitere Migration der Daten stattfinden muss, wird dadurch offensichtlich.

In den Publikationen der CAA existieren einige wenige Artikel und Projekte, die sich mit der Haltbarkeit von Daten in Abhängigkeit des Datenträgers beschäftigen. Als Beispiel sei hier zunächst das *Archaeological Data Archive Project* der Archaeological Institute of America<sup>107</sup>, das von 1992 bis 2002 eine Vielzahl an Dateiformaten und Datenträger sammelte, diese in ein aktuelles Format überführte und archivierte. Hier wurde die Problematik hervorgehoben, dass Daten auf veralteten Datenträger möglicherweise für immer verloren sein kann, nicht zuletzt, weil eventuell keine passende Hardware zum Auslesen mehr vorhanden ist<sup>108</sup>.

Bereits in der Publikation zur CAA-Konferenz im Jahr 1990 machte S. Gordon darauf aufmerksam, dass besonders für die Archäologie ein Datenverlust schwerwiegende Folgen haben kann<sup>109</sup>, und wies darauf hin, dass auf Computern gespeicherte Daten über Materialien, die nicht mehr vorhanden sind, mit besonderer Vorsicht zu behandeln sind<sup>110</sup>. Bezieht man diese Aussage nun auf die Grabungsdokumentation, bekommt sie zusätzliches Gewicht. Im weiteren Verlauf sieht sie die Archäologen, in der Verantwortung, diese Daten zukunftsicher aufzubewahren, und erwähnt in diesem Zusammenhang den zerstörenden Charakter der Archäologie<sup>111</sup>. Die in diesem Artikel folgenden Anführungen von möglichen Datenverlusten beziehen sich vorwiegend auf äußere Einflüsse wie Diebstahl und Brandunfälle<sup>112</sup>, ein wichtiger Punkt ist aber besonders hervorzuheben: der natürliche Alterungsprozess von Datenträgern.

---

<sup>105</sup> Dally – Komp 2011a, 11

<sup>106</sup> Dally – Komp 2011b, 64

<sup>107</sup> Eiteljorg II 1995 und Eiteljorg II 1999

<sup>108</sup> Eiteljorg II 1995, 245

<sup>109</sup> Gordon 1991, 75ff

<sup>110</sup> Gordon 1991, 75: „Computer-held data which has been generated from material which no longer exists must be stored and handled with greater care than that for which the original material is still available.“

<sup>111</sup> Gordon 1991, 75

<sup>112</sup> Gordon 1991, 76f

Unter dem Begriff *Datenträger* versteht man vor allem im digitalen Kontext zunächst Festplatten, CD-ROMs oder USB-Sticks. Ohne diesen muss man jedoch auch analoge Datenträger wie Papier in die Aufzählung mit einreihen, so führt Gordon im Rahmen ihrer Ausführungen zum Alterungsprozess Papier und Mikrofilm auf Silberhalogenidbasis als durchaus haltbare Datenträger an. Die damaligen Vermutungen über die Haltbarkeit von CD-ROMs und Magnetdatenträgern gingen jedoch auseinander<sup>113</sup>.

Heutzutage, also knapp 25 Jahre später zeichnet sich langsam ein Bild ab, wie lange Daten auf diesen Datenträgern tatsächlich sicher sind. Das Canadian Conservation Institut gibt die Haltbarkeit von digitalen Datenträgern wie folgt an<sup>114</sup>:

- Read-only CDs (factory stamped): 5 to 100 or more years depending on disc manufacturing quality
- CD-Rs (Compact Disc Recordable): 5 to 200 years depending on disc type and manufacturing quality
- CD-RWs (Re-Writeable): 5 to 100 or more years depending on manufacturing quality
- DVD, DVD-Rs, DVD-RWs (Digital Versatile Disc, Recordable, Re-Writeable): not much data is available for DVDs, but its lifetime is generally expected to be similar to that of a CD
- Diskettes and Hard Drive: 5 to 15 years

Gerade bei gebrannten CDs zeichnete sich im Laufe der letzten Jahre allerdings ab, dass man die durchschnittliche Lebensdauer besser äußerst niedrig ansetzen und nicht davon ausgehen sollte, dass die Daten auch in über 100 Jahren noch lesbar sind. Im Gegenteil: Nicht nur gehen viele Studien zur Haltbarkeit von CD-ROMs von idealen Lagerbedingungen aus, auch Beschriftungen und vor allem Aufkleber, deren Lösungsmittel mit der dünnen Reflexionsschicht, auf der die Daten eigentlich liegen, reagieren<sup>115</sup>, können die Lebenszeit erheblich verkürzen und zu Datenverlust führen<sup>116</sup>.

---

<sup>113</sup> Gordon 1991, 77

<sup>114</sup> <http://www.cci-icc.gc.ca/caringfor-prendresoindes/articles/faq-2-eng.aspx#faq2> [10.10.2013]

<sup>115</sup> [http://www.focus.de/digital/computer/chip-exklusiv/tid-7048/backup-strategien\\_aid\\_69017.html](http://www.focus.de/digital/computer/chip-exklusiv/tid-7048/backup-strategien_aid_69017.html) [10.10.2013]

<sup>116</sup> siehe auch: <http://www.dradio.de/dlf/sendungen/forschak/453943/> [01.10.2013]

Mit dem Aufkommen von CD und DVD für den außerindustriellen Bereich im letzten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts hatte es den Anschein, dass nun ein erschwinglicher Datenträger für die Langzeitspeicherung von Daten gefunden war. Auch wenn es keine Statistiken darüber gibt, in welchem Umfang digitale Grabungsdaten in den Archiven von Bund und Ländern lagern, wäre eine Inventur und eine damit verbundenen Sichtung und Sicherung dringend anzuraten. Zu groß ist die Gefahr, dass hier kulturelles Erbe unwiederbringlich verloren geht. Auch wenn hinter jedem modernen Speichersystem letztendlich auch Datenträger verborgen sind, die eine begrenzte Haltbarkeit haben, so bieten diese Langzeitarchive mit verteilten Dateisystemen oder Cloud-Dienste ein hohes Maß an Sicherheit. Durch redundante Speicherung der Daten und die identische Ablage auf mehrere Datenträger ist die Konsistenz auch im Falle eines Defektes gewährleistet.

## 4 Projekt *Pantora*

Die EDV spielt für die Archäologie seit einiger Zeit eine große Rolle. War der Einsatz der IT-Hilfsmittel zu den Anfängen hauptsächlich im Verwaltungsbereich zu finden, so sind die Möglichkeiten der Datenverarbeitung mittlerweile schier unbegrenzt. Damit eine solche elektronische Verarbeitung überhaupt möglich ist, ist es erforderlich, dass die Daten entweder bereits in einem digitalen Format vorliegen, oder aber in ein solches überführt werden. Moderne Grabungen sind in der Regel mindestens mit einem elektronischen Tachymeter und einem Laptop ausgestattet und es existieren auch Bestrebungen<sup>1</sup> zu einer komplett digitalen Dokumentation<sup>2</sup>, die jedoch durch geltende Grabungsrichtlinien relativiert werden. Das Brandenburgische Landesamt für Denkmalpflege schreibt zum „Einsatz EDV-gestützter Dokumentationstechniken auf archäologischen Ausgrabungen“: „Grundsätzlich sind eine EDV-gestützte Dokumentation und eine andere Dokumentationstechniken ersetzende Fotogrammetrie bzw. digital Fotografie nach Einzelabsprache zulässig.“<sup>3</sup> Die Richtlinien des Verbands der Landesarchäologen sagen hierzu: „Digitale Dokumentation darf nur im Einvernehmen mit dem zuständigen Fachamt verwendet werden.“<sup>4</sup> Diese Aussagen erscheinen zunächst etwas drastisch, stehen jedoch im direkten Bezug zur Begriffsbestimmung, dass mit „Digitale Dokumentation“ eine Ersetzung und keine Ergänzung der klassischen Methoden bezeichnet wird<sup>5</sup>. Wird eine Grabungsdokumentation elektronisch vorgenommen, muss normalerweise auch ein entsprechender Ausdruck der Daten mit eingereicht werden<sup>6</sup>.

Eine vollständig und ausschließlich digitale Vorgehensweise hätte besonderen Einfluss auf die Dokumentation von Plana und Profilen, da die händisch angefertigten und kolorierten Zeichnungen samt Interpretation des Ausgräbers entfallen und computergenerierten Ausdrucken weichen würden. Auch wenn dies den gesamten Dokumentationsvorgang sicherlich erheblich beschleunigen würde, so sind handgefertigte Zeichnungen auch heute noch immens wichtig, da sie einen umfassenden Informationsträger darstellen. Keine Fotografie, kein 3D-Scan verfügt über ein derart umfassendes Potential, die Grabungssituation zum Anfertigungszeitpunkt verständlich und reproduzierbar zu machen - ins besondere in Verbindung mit den zur Situation gehörenden Befundbeschreibungen. Sollte der schlimmste Fall eintreten und die digitalen Unterlagen samt Vermessungsdaten verloren gehen, so können die Zeichnungen als Quelle für das „Reverse Engineering“, also die Wiederherstellung der Ori-

---

<sup>1</sup> siehe u.a. Kirschfink 2008,

<sup>2</sup> Kirschfink 2008, 41: „Ziel war eine ausschließlich digitale Ausgrabungsdokumentation“

<sup>3</sup> Grabungsrichtlinien Brandenburg, 19

<sup>4</sup> Verband der Landesarchäologen 1999, 16

<sup>5</sup> ebenda

<sup>6</sup> Verband der Landesarchäologen 1999, 17: Unter der „Abzugebende Dokumentationsunterlagen“ wird aufgelistet: „kompletter Ausdruck aller digitaler Daten in archivfähiger Form (Laserdrucker)“

ginalsituation und einem darauf aufbauenden Wiederherstellen der verlorenen Digitaldaten genutzt werden.

Der Schwerpunkt moderner computergestützten Anwendungen für die Archäologie liegt bei der Verarbeitung von bestehenden Digitaldaten. Software, die sich mit der Retrodigitalisierung, dem Übertragen bestehender Analogdaten in ein digitales Format, beschäftigen, sind äußerst rar gesät. Wenn analoge Daten von Altgrabungen den Weg in ein digitales Archiv finden, dann meist nur in Form von Scans der in Papierform vorliegenden Dokumente. In ihrer Rohform sind diese für einen Bearbeiter der Grabung zwar schon von großem informellen Wert, doch für die meisten modernen Applikationen, die im archäologischen Gebiet zum Einsatz kommen, nicht weiterverarbeitbar.

Das zum Großteil im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Projekt *Pantora* setzt genau an dieser Stelle an. Bereits 2005 entstand in Verbindung eines Softwarepraktikums für das Institut für wissenschaftliches Rechnen der Universität Heidelberg<sup>7</sup> die Idee, eine Software zu erstellen, mittels der Digitalisate von Grabungszeichnungen in ihrem Zusammenhang dargestellt werden können. Die ersten Versuche beschränkten sich auf einen einzelnen Datensatz eines Grabungsquadranten der Lehrgrabung Stillfried an der March (Niederösterreich) des Instituts für Ur- und Frühgeschichte der Universität Heidelberg. Mit Abschluss des Praktikums lag ein einfaches 3D-Modell dieses Datensatzes vor<sup>8</sup>, basierend auf dem Programm JAFV<sup>9</sup>. Es handelte sich lediglich um eine drehbare Ansicht von statisch eingebundenen Scans der Zeichnungen, die zuvor in einem Bildverarbeitungsprogramm zugeschnitten und bearbeitet wurden. Es bestand keine Möglichkeit, weitere Zeichnungen hinzuzufügen und zu bearbeiten.

In einem späteren Praktikum, das ebenfalls am IWR absolviert wurde, wurde versucht, ein auf Trilateration basierendes, möglichst kostengünstiges Feldzeichengerät für Plana und Profile zu konstruieren. Unter dem Arbeitstitel *Pantora*<sup>10</sup> entstand so eine Hardware zur Aufnahme von Punkten im 3D-Raum, deren Grundprinzip mit dem im Abschnitt Geräte auf Basis von Triangulation und Trilateration vorgestellten Trigomat vergleichbar ist. Zusätzlich wurde eine rudimentäre Software entwickelt, mit Hilfe der man die Punktaufnahme in einem 3D-Modell verfolgen konnte. Der fertiggestellte Prototyp war in dieser Form zwar nutzbar, jedoch erwies sich vor allem die Handhabung als recht umständlich, weshalb im Rahmen dieser Magisterarbeit versucht wurde, hierfür eine Alternativlösung zu finden. Da

---

<sup>7</sup> <http://www.iwr.uni-heidelberg.de/>

<sup>8</sup> <http://pille.iwr.uni-heidelberg.de/~grabung01/> [03.10.2013]

<sup>9</sup> **J**ust **A**nother **F**antastic **V**iewer: <http://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/ngg/JAFV/> [03.10.2013]

<sup>10</sup> <http://www.pantora.de> [03.10.2013]

im Laufe dessen klar wurde, dass der große Entwicklungsaufwand nicht in deren Umfang passen würde, musste dies bis auf weiteres unterbrochen werden. Die aus der Entwicklung des Prototyps und dem anschließenden Verbesserungsversuch gewonnenen Erkenntnisse werden im folgenden Kapitel kurz vorgestellt.

Das mit dieser Arbeit eingereichte Programm basiert auf dem Grundgerüst dieser Software, wobei diese allerdings grundlegend überarbeitet wurde. Der übernommene Projektname *Pantora* ist lediglich als Reminiszenz anzusehen, da dies die neue Software von der Hardware komplett abgekoppelt wurde. Im Gegenzug wurde die ursprüngliche Idee der Umsetzung von Grabungszeichnungen in einer 3D-Umgebung wieder aufgegriffen und ausgebaut. Die Überlegung war, eine Software zu entwerfen, die im Sinne einer Retrodigitalisierung Informationen aus analogen Grabungszeichnungen in ein digitales Format überführen, und dies in einem 3D-Modell darstellen soll, ohne dass digitale Vermessungsdaten vorliegen müssen. Es soll anschaulich gemacht werden, wie eine potentielle, möglichst praxisnahe Vorgehensweise zur Aufarbeitung von Altgrabungen aussehen kann, beziehungsweise wie die analogen Zeichnungen als zentrale Quelle für den Aufbau einer digitalen Dokumentation für eine rein manuell durchgeführte Ausgrabung oder im Falle eines Datenverlustes, also als einer Art Reverse Engineering des Ausgrabungsprozesses dienen können.

Die folgende Beschreibung der Software entspricht der mit dieser Arbeit eingereichten, frühen Version des Programms auf dem aktuellen Entwicklungsstand, die als Work-in-Progress anzusehen ist. *Pantora* soll angesichts der bereits angeführten, nachhaltigen Vorteile von freien, quelloffenen Programmen möglichst bald als Open-Source-Software bereitgestellt werden.

### 4.1 Hardware

Die Idee hinter der im Rahmen des Praktikums stattfindenden Entwicklung der *Pantora*-Hardware war, einen Prototypen eines Werkzeugs zu erhalten, das zum dreidimensionalen Einmessen von Funden und Befunden, beziehungsweise einzelner Punkte eingesetzt werden kann. Einmal in das Koordinatensystem der Grabung eingehängt, soll es dies unabhängig von anderen Vermessungsgeräten bewerkstelligen können. Im Gegensatz zur Aufnahme mittels Totalstation sollte die Hardware auch von einer einzelnen Person gut einsetzbar sein, um somit den Aufwand für die Dokumentation einer Befundsituation herabzusetzen. Im Vordergrund der während des Praktikums erstellten Beobachtungen standen die Benutzbarkeit auf der einen, der finanzielle Aspekt auf der anderen Seite. Der Wunsch war,

eine Art 3D-Pantografen zu erhalten, mit dem die einzelnen Befunde eines Grabungsquadranten nachgefahren werden können, um so ein digitales Abbild der Befundsituation zum Ergebnis zu bekommen.

Die mathematische Grundlage hierzu bildet das Trilaterationsverfahren, für das drei im Raum bekannten Punkte und die drei Entfernungen zum gesuchten Punkt als bekannt angenommen seien. Die Anwendung des Verfahrens mit diesen Voraussetzungen liefert nur in dem Fall ein eindeutiges, wenn der gesuchte Punkt sich auf der von den drei Punkten aufgespannten Ebene liegt. In jedem anderen existieren zwei mögliche Lösungen, von denen die eine dem tatsächlich gesuchten Punkt, die andere dessen an dieser Ebene gespiegeltem Pendant entspricht. Durch die Aufstellung einer zusätzlichen Bedingung kann jedoch der falsche Punkt eliminiert werden. In Anbetracht der Tatsache, dass bei einer Ausgrabung vorwiegend nach unten gearbeitet wird, bietet sich hierfür die Aussage an, dass der gesuchte Punkt der tiefere von beiden sein sollte, sofern die drei bekannten Punkte dementsprechend gewählt wurden.

Für die Bewerkstelligung der Entfernungsmessung wurden industrielle Seilzugsensoren der Firma *MicroEpsilon*<sup>11</sup> mit der Artikelbezeichnung WDS-2000-P96-CA-P<sup>12</sup> ausgesucht, die bereits mehrere Bedingungen erfüllen, die vorausschauend auf einen möglichen Einsatz im Feld aufgestellt wurden. Mit einer maximalen Reichweite von 2500mm ermöglichen diese einen recht großen Einsatzradius des Systems und der automatische Einzug des Seils mit einer Kraft von mindestens 5,5N sorgt für eine Minimierung des Durchhangfehlers, der durch die auf die Seile wirkende Schwerkraft verursacht wird. Ein eingebauter Encoder setzt die ausgezogene Strecke in ein analoges Signal um, das einen dieser Strecke entsprechenden, linearen Pegel liefert. Über einen Analog-Digital Wandler werden diese in ein digitales Datenpaket umgewandelt, das von einer Software empfangen wird, die unter anderem die Berechnung des Triangulationsverfahrens übernimmt.

Die zum Einsatz kommenden Sensoren haben jedoch einen entscheidenden Nachteil: Die Winkelabweichung zwischen Seil und Gehäuse, in dem zum einen das Seil aufgerollt und zum anderen der Encoder verbaut ist, darf lediglich maximal  $\pm 3^\circ$  betragen, was für den gedachten Zweck nicht ausreicht. Um diesem Problem entgegenzuwirken wurde eine Haltevorrichtung für die Sensoren konstruiert, die zum einen den Seilaustritt aus dem Gehäuse in diesem Bereich hält, zum anderen aber eine freie Beweglichkeit um zwei Achsen bietet, um einen Wirkungsradius von annähernd  $360^\circ$  um jede dieser Achsen zu

---

<sup>11</sup> <http://www.micro-epsilon.de> [03.10.2013]

<sup>12</sup> Tafel 23

ermöglichen<sup>13</sup>. Zudem musste bei der Konstruktion beachtet werden, dass das Seil durch den Schnittpunkt der Achsen gehen muss, da dieser für die Berechnung der Trilateration zwingend benötigt wird. Eine weitere Anforderung an die Stative war, dass sie sich ohne weiteres Zutun zum gesuchten Punkt ausrichten sollte, was durch eine aus dem Achsenschnittpunkt herausgestellte Seilführung realisiert wurde. Durch diese wirken bei einer Bewegung des gesuchten Punktes Hebelkräfte, die für das nötige Drehmoment sorgen.

Die durch Hebel und Seilrückzug verursachten Kräfte müssen allerdings kompensiert werden, damit die drei benötigten Fixpunkte nicht durch Bewegung der gesamten Apparatur verschoben werden. Als für den Prototypen ideal, da sehr massiv und zudem kostengünstig, stellten sich Schirmständer mit einer Basis aus Beton heraus, die nur wenig modifiziert werden mussten.

Das Bedienelement der Hardware besteht aus zwei Teilen, wobei der eine zur Führung des gesuchten Punktes dient. Hierbei handelt es sich um einen einfachen Metallstift, an dessen Spitze die Enden der drei Seile fixiert sind. Mit diesem werden die Konturen der Befunde nachgefahren. Der andere Teil ist die eigentliche Bedieneinheit<sup>14</sup>. In Anlehnung an die Hebe- und Senkvorrichtungen der Stiften von analogen Pantographen sollte auch die *Pantora*-Hardware eine Möglichkeit bieten, von einem Befund zum nächsten übergehen zu können. Hierfür erwies sich der Griff eines alten Joysticks als geeignet, über dessen zwei Knöpfe einerseits die Aufnahme eines Punktes und das Hinzufügen zum aktuell gezeichneten Befund ausgelöst, und zum anderen der Software der Abschluss der aktuellen und der Übergang zu einer neuen Befundaufnahme signalisiert werden kann. Hierdurch wird die eingangs erwähnte Benutzbarkeit durch eine Einzelperson gewährleistet.

### 4.1.1 Aus dem Prototypen gewonnene Erkenntnisse

Nach der Fertigstellung des Prototyps der Hardware und einer dazugehörigen Software zur Berechnung, Aufnahme und Visualisierung wurden einige Tests durchgeführt, um zu sehen, ob und in welchem Umfang die Anforderungen erfüllt werden. Die ersten Versuche waren zunächst viel versprechend.

Nach der erfolgten Kalibrierung der Sensoren, für die mit jedem der Seilzüge eine abgemessene Länge von einem Meter als Referenz für die Umrechnung der Sensorwerte in metrische Daten festgehalten wird, der Einrichtung eines lokalen Koordinatensystems und dem Eintragen der Koordinaten der Achsenschnittpunkte der einzelnen Stative, die

---

<sup>13</sup> Tafel 24

<sup>14</sup> Tafel 25



für das Trilaterationsverfahren bekannt sein müssen, war die Hardware zur Aufnahme einsatzbereit. Die umgesetzte Punktberechnung funktionierte und die Software war in der Lage, die Bewegung des Zeichenstifts in Echtzeit auf dem Bildschirm darzustellen. Auch die Aufnahme von Umrissen von unterschiedlichen Objekten war möglich. Die über die Bedieneinheit abgegebenen Kommandos zur Punktaufnahme und Wechseln in eine neue Punktgruppe, die im Feld dann die Befundgrenzen repräsentieren sollten, wurden von der Software umgesetzt. Die Grundvoraussetzungen für die Anwendung in Testszenarien waren somit geschaffen.

Für den ersten Test wurde ein Mauerstück nahe der Universität ausgewählt. Die Sensoren wurden hierbei der Einfachheit halber so aufgestellt, dass zwei von ihnen die x-Achse des örtlichen Koordinatensystems bildeten. Bereits beim Verladen, dem Transport und dem Aufbau fiel das hohe Gewicht der Stative, besonders der Schirmständer auf. Der ebene Boden und die gleiche Höhe der Stative, wodurch die Höhenkoordinate bei allen identisch war, erlaubte die Berechnung der Koordinaten des dritten Sensor über den Satz des Pythagoras. Nach Eingabe und Kalibrierung konnte schließlich mit der Aufnahme begonnen werden. Die Konturen des gepflasterten Bodens waren rasch nachgezeichnet, wobei sich die Bedieneinheit mit den Knöpfen zur Signalgebung an die Software als sehr intuitiv erwies. Es zeichneten sich allerdings nach kurzer Benutzungszeit einige Probleme ab, die die Effektivität und Einsetzbarkeit im Rahmen einer Grabung schwer beeinträchtigen.

Anhand des in Echtzeit erstellten 3D-Modells<sup>15</sup> der aufgezeichneten Konturen konnte man erkennen, dass die einzelnen Mauersteine in der Form, wie sie im Modell dargestellt wurden, nicht mit den realen Mauerelementen übereinstimmten. Je weiter der Stift außerhalb des von den Stativen aufgespannten Dreiecks geführt wurde, umso mehr zeigte sich dieses Problem. Durch die spitzwinklige Zusammenführung der Seile, die außerhalb dieses Bereiches auftrat, und durch die Annäherung an die durch die Sensoren aufgespannte Ebene wurde die Berechnung des gesuchten Punktes mehr und mehr ungenau. Der Grund hierfür konnte bei der einfachen, noch ohne Fehlerkorrekturen auskommenden Vorgehensweise bei der Berechnung des gesuchten Punktes lokalisiert werden. Durch eine Verfeinerung dieser Methode könnte dieses Problem allerdings zu großen Teilen behoben werden.

Ein weitaus schwerwiegenderes Problem war jedoch die generelle Benutzbarkeit. Durch die hohe Kraft des automatischen Seilrückzugs der Sensoren war eine im Vergleich zum klassischen, analogen Pantographen verhältnismäßig hohen Anstrengung nötig, um den Stift auf den gewünschten Punkt zu führen und dort zu fixieren. Des weiteren sorgten die auf die

---

<sup>15</sup> Tafel 26

vorgelagerten Seilführungen wirkenden Kräfte zwar wie gewünscht dafür, dass die Stative der Bewegung des Stiftes folgten, durch die entgegengewirkende Kraft des Ausgleichgewichts für die Sensoren knickten die Seile an dieser Stelle allerdings ab, was die Entfernungsmessung verändert, auf das Endergebnis jedoch nur minimalen Einfluss hatte. Eine weitaus schwerwiegenderes Problem ergab sich im Laufe der Benutzung: Die gespannten Seile behinderten die freie Bewegung des Benutzers, da darauf geachtet werden musste, dass diese nicht berührt und somit die Entfernungsmessung verfälscht wurde.

Ein zweiter Versuchsaufbau sollte die Präzision der Messungen überprüfen. Hierzu wurde an einer Wand ein insgesamt 80cm x 80cm großes Raster und ein weiteres der Größe 100cm x 100cm auf dem Boden davor aufgeklebt<sup>16</sup>. Die Abweichung für das Bodenraster bewegte sich im Bereich von etwa einem bis maximal 17mm, für die Wandpunkte zwischen 18 und 34mm, wobei die Abweichungen mit zunehmender Entfernung steigen. Dies ist zum einen auf die mechanische Fixierung der Seilenden am Zeichenstift, zum anderen auf den sehr spitzen Winkel, den die Seile in diesen Bereichen zueinander haben, zurückzuführen, da im arithmetischen Mittel der reinen Entfernungsmessung lediglich Abweichungen im Submillimeterbereich auftraten.

Letztendlich sind fast alle auftretenden Probleme auf die mechanische Entfernungsmessung zurückzuführen. Gelänge es, diese durch berührungslose Messinstrumente zu ersetzen, würde dies vor allem im Sinne der Benutzbarkeit eine große Verbesserung bedeuten. Zudem könnte das große Gewicht der Apparatur dadurch bedeutend verkleinert werden, so dass ein Aufbau und Einsatz im Feld sehr viel einfacher zu bewerkstelligen wäre.

### 4.1.2 Idee und Versuch der Weiterentwicklung

Nach Abschluss des Projekts wurde anhand der aus den Testläufen gemachten Erkenntnissen versucht, Lösungen für die aufgetretenen Probleme zu finden. Es wurde festgestellt, dass die Suche einer Alternative für die Entfernungsmessung die höchste Priorität haben muss, da die durch die gespannten Seile herrührenden Einschränkungen für den Benutzer die Hardware nicht im im erwünschten Sinne eingesetzt werden kann. Erst nachdem die hardwareseitigen Anforderungen für eine bequeme und effektive Nutzbarkeit erfüllt sind, wird eine Überarbeitung der Punktberechnung über Trilateration und eine Erhöhung der Genauigkeit durch das Umsetzen von Fehlerrechnungen in der verarbeitenden Software sinnvoll.

---

<sup>16</sup> Tafel 27

Als berührungsloser Ersatz für die drei Seilzugsensoren wurde nach einer Alternative gesucht, die die Berechnung der Entfernung über eine Laufzeitmessung<sup>17</sup> eines Signals bewerkstelligen sollte. Die Idee war, den Zeichenstift mit einem Sender auszustatten, der in regelmäßigen Abständen ein solches Signal aussendet, und die Stative und Seilzugsensoren durch drei Empfänger zu ersetzen. Durch die bekannten Zeitpunkte von Start des Signalversands und Registrierung durch die Empfänger ließe sich die Dauer der Signalübertragung ermitteln und anhand der Ausbreitungsgeschwindigkeit, die ebenfalls bekannt sein muss, ist eine Berechnung der Entfernung der drei in das lokale Koordinatensystem eingehängten Empfänger möglich.

Mit Blick auf die Genauigkeit wären Geräte, die die Laufzeitmessung über gepulste Laserstrahlen bewerkstelligen, die erste Wahl gewesen. Die Bündelung des Laserlichts auf einen Strahl mit geringem Streuradius stellte allerdings einen Nachteil dar, da Sender und Empfänger hätten vertauscht und die dann auf den Stativen angebrachten Sender bei jeder Bewegung des Zeichenstiftes auf diesen hätten neu ausgerichtet werden müssen. Durch die feine Bündelung müsste diese Ausrichtung sehr präzise erfolgen, was auch eine hohe Genauigkeit des Messergebnisses und der daraus resultierenden Punktberechnung voraussetzen würde.

Als kostengünstige Alternative stellten sich Ultraschallsensoren aus dem Robotik-Bereich heraus, deren Streuwinkel bedeutend größer war. Ein Großteil der erhältlichen Module waren nicht auf die Messung der Entfernung zwischen Sender und Empfänger ausgelegt, sondern Sender und Empfänger waren parallel zueinander verbaut, wodurch die Reflexion des Signals vom dem Modul am nächsten gelegenen Objekt verwertet wurde. Für die durchgeführten Versuche wurden drei HC-SR04<sup>18</sup> Ultraschallsensoren der Firma Cytron<sup>19</sup> verwendet, die bei einem Preis von weit unter zehn Euro pro Stück den Anspruch, die Kosten möglichst niedrig zu halten, voll erfüllten. Durch eine Modifikation, in der der Sender vom Modul entfernt und über ein langes Kabel wieder mit diesem verbunden wurde, konnte eine Punkt-zu-Punkt Entfernungsmessung durchgeführt werden. Doch auch der Senderradius von bis zu 30° machte eine Ausrichtung der eingemessenen Empfänger auf den am Zeichenstift befindlichen Sender unabdingbar. Hierfür wurde eine Dreheinheit mit zwei kleinen Servomotoren aus dem Modellbau konstruiert<sup>20</sup>. Für die Kommunikation zwischen

---

<sup>17</sup> vgl. Theodolit und Tachymeter

<sup>18</sup> [https://docs.google.com/document/d/1Y-yZnNhMYy7rwhAgyL\\_pfa39RsB-x2qR4vP8saG73rE/edit](https://docs.google.com/document/d/1Y-yZnNhMYy7rwhAgyL_pfa39RsB-x2qR4vP8saG73rE/edit)  
[03.10.2013]

<sup>19</sup> <http://www.cytron.com.my>

<sup>20</sup> Tafel 28

Computer und Sensoren wurde ein „Arduino Uno“, ein Open-Source Entwicklerinterface<sup>21</sup> eingesetzt. Dieser wurde so programmiert, dass einerseits die Entfernungsdaten an den Computer geliefert wurden, und andererseits der Computer die Servomotoren steuern konnte, um die Empfänger auf den Sender auszurichten.

Nachdem erste Versuche mit der Entfernungsmessung zwar viel versprechend liefen, wurde jedoch schnell klar, dass Entwurf und Zusammenbau der Hardware und die Programmierung den Zeitrahmen und Umfang einer Masterarbeit weit übersteigen würden, weshalb die Weiterentwicklung eingestellt wurde. Der Fokus sollte vielmehr auf die ursprüngliche Idee gelenkt werden, zeichnerische Dokumentation in einem 3D-Modell darzustellen.

### 4.2 Software

Die im Rahmen dieser Masterarbeit entwickelte und eingereichte Version von *Pantora* basiert nur lose auf der zum vorgestellten Trilaterationswerkzeug gehörigen Software, von der einzig die rudimentäre Funktionalität zur dreidimensionalen Darstellung übernommen wurde. Das Vorhaben, Grabungszeichnungen ohne vorhandene digitale Dokumentation in ein 3D-Modell umzusetzen, bedarf einer anderen Herangehensweise, an deren Anfang keine Datenaufnahme steht, wie sie direkt im Feld passiert, sondern das Extrahieren der in den Plänen enthaltenen Information. Der erste Schritt für den Aufbau der Software war es festzustellen, welche Informationen auf diesen überhaupt vorhanden sind.

Über eine konkret auf die auf der Grabung entstandenen Zeichnungen bezogene Retrodigitalisierung schweigt sich die Literatur aus, weshalb für die Bearbeitung in *Pantora* von einfachen Scans ohne weitere Bearbeitung ausgegangen wurde, auch deshalb, da dies wie jedes lose Papierdokument beispielsweise über ein Kopiergerät mit automatischem Papiereinzug problemlos automatisierbar ist. Für eine Digitalisierung eines großen Dokumentearchivs wäre dies ein denkbarer erster Schritt.

Ein Scan entspricht zunächst einer reinen 1:1 Abbildung des Dokuments ohne Informationsverlust und ist für das Archivieren unter diesem Gesichtspunkt gut geeignet. Die Auswertung von Zeichnungen kann am Computer somit identisch zum Papieroriginal erfolgen und zudem können für eine Weiterverarbeitung nun Hilfsmittel der EDV wie beispielsweise ein Bildbearbeitungsprogramm benutzt werden. Doch welche Informationen enthalten die Zeichnungen und somit auch deren Digitalisate, die beim Betrachten für den Bearbeiter in der Regel zwar offensichtlich sind, deren Umsetzung in ein digitales Format allerdings

---

<sup>21</sup> <http://www.arduino.cc> [03.10.2013]

noch erfolgen sollte? Im Besonderen mit Blick auf die Aufarbeitung einer Altgrabung wird diese Frage wichtig, da erst dies die Anwendung von modernen, EDV-gestützten Methoden auf rein analog durchgeführte Grabungen ermöglicht. Es entsteht eine Vernetzung von konventionellen und modernen Verfahren der Archäologie.

### 4.2.1 Informationsgehalt von Grabungszeichnungen

Die zeichnerische Dokumentation vereint Abbildung, Beobachtungen, Interpretation, Vermessungs- und Verwaltungsdaten eines Quadranten oder Befundes in sich. Dort wo eine Fotografie die Szene der Grabung originalgetreu einfängt, wird beim Anfertigen einer Zeichnung diese soweit abstrahiert, dass erkannte Bodenbeschaffenheiten, Farbverläufe, Befunde und Funde sich voneinander abheben und den Bearbeiter der Dokumentation so näher an die tatsächlich während der Ausgrabung vorgefundene Situation heranführt.

Tafel 19 zeigt den kompletten Scan einer Planumszeichnung eines Grabungsquadranten, aufgenommen auf der vom Institut für Ur- und Frühgeschichte durchgeführten Lehrgrabung in Haßloch (Landkreis Bad Dürkheim, Rheinland-Pfalz) im Jahr 2011. Diese soll als Beispiel für die Analyse dienen. Die Dokumentationsrichtlinien und deren Durchführung können von Institution zu Institution durchaus hiervon abweichen, so ist es beispielsweise auch gängige Praxis, Metadaten wie Nivellementpunkte, Befundgrenzen und -nummern von der eigentlichen Zeichnung getrennt auf einem über die fertige Zeichnung gelegtes Transparentpapier oder einer Folie einzutragen.

Das Millimeterpapier kann über die am Rand angeführten Koordinaten des örtlichen Koordinatensystems in dieses eingehängt werden, wodurch schließlich der Bezug zum Welt-System hergestellt werden kann. Der Maßstab, der auch im dafür vorgesehenen Kopffeld der Zeichnung eingetragen wird, ließe sich zudem anhand dieser Koordinatenmarkierungen ermitteln. Millimeterpapier und Maßstab ermöglichen es, die Lagekoordinaten jedes beliebigen Punktes abzulesen und in das Weltsystem zu setzen. Durch die angestrebte Höhe des Planums wird die noch fehlende Höhenkoordinate geliefert, die allerdings nur als Durchschnittswert angesehen werden kann, da Abweichungen von der Soll-Höhe nicht vermeidbar sind. Der Nordpfeil erleichtert die globale Orientierung der Zeichnung und wird dann wichtig, sobald der Plan aus seinem Gesamtkontext gerissen wird.

Genaue Werte für die Höhe liefert der Nivellementplan, über den neben Kontrollpunkten für die Planumshöhe auch grobe Abweichungen, die zum Beispiel von größeren, aus dem Planum herausragenden Objekten verursacht werden, festgehalten werden können. Die mit Referenzhöhen versehene Punkte sind auf der Beispielszeichnung mit Schwarzen, nach unten

gerichteten Dreiecken gekennzeichnet und Nummern versehen, über die der Höhenwert aus der Tabelle auf der rechten Seite abgelesen werden kann. Anhand dieser kann man die Einzelschritte der Messungen sehr gut nachvollziehen: Zunächst wurde die Tageshöhe ermittelt, die über einen Festpunkt mit bekannter Höhe über Normal-Null einen Bezug zum Welt-System erhält. Daraufhin wird die Ablesung getätigt, eingetragen und anschließend in den absoluten Wert umgerechnet. Die Redundanz der Werte dient als Rücksicherung für eventuelle auftretende Fehler.

Die Befunde und deren Grenzen samt Bezeichnung in Form von Nummern bilden ein weiteres, wenn nicht sogar das wichtigste Informationspaket, das in den Zeichnungen enthalten ist. Sie spiegeln das Verständnis des Zeichners von der direkt im Feld vorgefundenen Situation wider. Die klar definierten Grenzen sind ausschlaggebend für die Interpretation der Gesamtsituation, die im Zuge der Kolorierung angebrachten Farbverläufe sorgen für eine Entschärfung der Grenzen, da diese in den seltensten Fällen klar festzustellen sind. Dies ist ein gutes Beispiel hierfür, wie Daten aus drei Bereichen - Vermessung, Verwaltung und Bodenkunde - durch die Zusammenführung auf der Zeichnung zur für die Archäologie relevanten Information werden.

Die Farbgebung der Kolorierung orientiert sich an den vom Amt vorgegebenen Farbtabellen für Funde und Bodenarten, die Verwendung der Farben an der Interpretation des Ausgräbers. Das Hervorheben von Fundgattungen hilft dem Betrachter der Zeichnung unter anderem, Ansammlungen und Konzentrationen zu erkennen, was durch statistische Hilfsmittel der EDV nur nach einer digitalen Separation vom Scanbild möglich ist. Besondere Merkmalen des Bodens, beispielsweise eine im Vergleich zum Umfeld erhöhte Konzentration von Kieseln, wie im Beispiel im nördlichen Bereich und an der Südwestgrenze des Quadranten zu erkennen, komplettieren die im Rahmen der Zeichnung dargestellte Bodenbeschaffenheit.

In die Bereiche Vermessung und Verwaltung kann man die eingetragenen Punkte, die die Grenzen für die Befundsnitte aufspannen, setzen. Diese dienen zum einen der Bestimmung der Passpunkte für das Einhängen der Profilzeichnungen der Schnitte und zu derer Ausrichtung. Da der zeichnerische Maßstab eine exakte Eintragung und spätere Ablesung gerade bei Schnittlinien schwierig macht, die eine von den Koordinatenachsen abweichende Orientierung aufweisen, sollten diese Punkte samt Koordinaten zusätzlich auf den Schnittzeichnungen vermerkt werden.

Den Abschluss dieser Anführung bilden die im Zeichnungskopf angeführten Angaben. Hier finden sich vorwiegend Daten zur Verwaltung der Grabungsdokumentation. Neben Angaben

zum Grabungsort befinden sich dort Fundstellennummer und E-Nummer, die zentral vom Landesdenkmalamt zur internen Referenzierung vergeben werden. Die Blattnummer dient der Überprüfung der Vollständigkeit der Dokumentation, Angaben zu Zeichner und Datum erleichtern die Einordnung in den Ablauf der Untersuchung und die Synchronisierung mit dem Grabungstagebuch. Besonders hervorzuheben sind die Bezeichnungen von Fläche, Befund und Planum, da sie in direkter Weise das Abgebildete in die Vermessung und die Struktur der Grabung einhängen.

### 4.2.2 Herangehensweise und technischer Hintergrund

Im Vergleich zu existierenden Softwarelösungen wie AutoCAD oder GIS-Programme, die ebenfalls die Möglichkeit bieten, digitalisierte Zeichnungen in das Modell einzubinden, unterscheidet sich *Pantora* vor allem in Bezug auf die vorliegenden Quellen, beziehungsweise der Umgang mit diesen. *Pantora* ist darauf ausgelegt, direkt mit Rohscans zu arbeiten und ohne die zusätzliche Nutzung von externen Programmen die Konstruktion einer dreidimensionalen Darstellung der Zeichnungen zu ermöglichen.

*Pantora* erhebt keinesfalls den Anspruch, ein Ersatz oder Konkurrenz für die derzeit für die Grabungsdokumentation und -visualisierung eingesetzten Programme zu sein. Vielmehr soll das Programm mit seiner etwas anderen Herangehensweise an die Aufarbeitung der zeichnerischen Dokumentation einen Weg zeigen, wie die Benutzbarkeit näher an die Ansprüche eines Archäologen gebracht werden kann und folgt hier der Strategie des digitalen Reverse-Engineering ausgehend von Digitalisaten der Papierdokumentation bis hin zur Rekonstruktion der Situationen, wie sie auf der Ausgrabung vorgefunden wurde. Es wurde versucht, die Bedienung des Programms möglichst nahe an der Arbeit mit den Plänen in Papierform am Schreibtisch zu orientieren, um ein intuitives Arbeiten mit der Software zu ermöglichen. Eines der Hauptziele war, dass auch ungeübte Benutzer in kurzer Zeit ein maßstabsgetreues Modell der Grabung aufbauen können sollten.

Die Programmierung erfolgte in C++, für die grafische Oberfläche wurde die C++-Klassenbibliothek QT<sup>22</sup> eingesetzt. Die Plattformunabhängigkeit, durch die die Erstellung von Programmversionen für Linux-, Windows- und Mac-Systeme ermöglicht wird, und die für die Entwicklung von quelloffener Software vorhandene Open-Source-Lizenz des Frameworks waren mit Blick auf die im Abschnitt Lesbarkeit und Interpretierbarkeit des vorhergehenden Kapitels angeführten Anforderungen an eine Langfristige Lesbarkeit ideale Voraussetzungen für die Entwicklung von *Pantora*. Dessen Quellcode soll ebenfalls für die

---

<sup>22</sup> <http://www.qt-project.org/> [08.10.2013]

Öffentlichkeit bereitgestellt werden. Zur Realisierung der 3D-Darstellung wurde die für die Softwareentwicklung lizenzfreie<sup>23</sup>, ebenfalls plattformunabhängige Grafikbibliothek *OpenGL* eingesetzt. Für die Kamerasteuerung wird die Open-Source-Bibliothek *libGGLViewer*<sup>24</sup> für QT und C++ benutzt.

Der eingereichte Datenträger enthält neben dem Quellcode eine unter 64bit Linux lauffähige Version von *Pantora*.

### 4.2.3 Anwendung und Funktionsumfang

Die hier eingereichte, frühe Version der Software stellt das Grundgerüst dar, wie diese Strategie verfolgt werden kann. Nach dem Scan der Pläne können diese ohne Umweg über zusätzliche Software direkt in *Pantora* eingebunden werden. Beim Anlegen eines neuen Projekts werden zunächst die initialen Positionen für die Kamera und der Punkt, auf den sie ausgerichtet sein soll, angegeben. Hierdurch wird bei jedem Laden des Projekts die 3D-Ansicht automatisch auf diesen Punkt bewegt. Für den Anfang bieten sich als Werte für die Kamera Koordinaten an, die knapp außerhalb des Areals und oberhalb der Grabungsoberkante liegen. Als Ausrichtungspunkt sollte ein zentral auf dem Grabungsareal gelegener Punkt gewählt werden, wodurch man eine grobe Übersicht über das Areal erhält. Zudem kann das Koordinatensystem von links- auf rechtshändig umgestellt werden, das durch eine Invertierung der x-Achse realisiert wird. In der aktuellen Version entspricht die y-Achse der Höhenangabe, was jedoch in einer kommenden Version geändert wird.

Über den *Scanmanager* werden die Pläne zunächst in Rohform geöffnet und können im Anschluss verarbeitet werden. Das für diese Arbeit gesetzte Ziel war es, hieraus die Zeichnungen zu extrahieren. In der Umsetzung wurde auch der Umstand bedacht, dass auf einem Blatt Millimeterpapier je nach Umständen und Vorgaben auch mehrere Befundzeichnungen enthalten sein können<sup>25</sup>. Der *Scaneditor* ermöglicht das Ausschneiden mehrerer Bereiche und dadurch das extrahieren mehrerer Zeichnungen aus einer Vorlage<sup>26</sup>. Im Anschluss stehen die so ausgeschnittenen Zeichnungen bereits zur Weiterverarbeitung zur Verfügung, für ein flüssigen Arbeitsablauf kann jedoch umgehend mit dem Hinzufügen weiterer Scans fortgefahren werden. Auch das Ausschneiden der Zeichnungen kann in einen späteren Arbeitsabschnitt verlagert werden.

---

<sup>23</sup> <http://www.sgi.com/products/software/opengl/license.html> [08.10.2013]

<sup>24</sup> <http://www.libqglviewer.com/> [08.10.2013]

<sup>25</sup> Tafel 29

<sup>26</sup> Tafel 30



Nach dem Importieren der Scans und dem Ausschneiden der einzelnen Zeichnungen werden diese im *Zeichnungseditor* für das Einhängen in das 3D-Modell vorbereitet. Um dies zu realisieren, müssen aus den Abbildungen lediglich zwei Informationen hervorgehen. Zunächst ist festzustellen, ob es sich um eine Planums- oder Profilzeichnung handelt. Dies sind die beiden grundsätzlichen Unterscheidungsmerkmale, die jede Dokumentation unabhängig von der Vorgehensweise, in der die Ausgrabung durchgeführt wird, gleichsam hervorbringt. Um die eindeutige Position der Zeichnung im dreidimensionalen Raum festzustellen sind zudem lediglich zwei Punkte auf dieser nötig, deren Positionen auch im Koordinatensystem der Grabung bekannt sind. Über den Zeichnungseditor ist dies über das Menü *Einhängen* zu bewerkstelligen<sup>27</sup>. Über zwei Mausklicks werden die auf der Zeichnung lokalisierten Passpunkte festgelegt und im Anschluss im Menü mit den entsprechenden Koordinaten des örtlichen Systems versehen. Die Punkte müssen dabei keine Parallele zu den Koordinatenachsen bilden, sondern beliebig gewählt sein: Pantora führt intern die notwendigen Berechnungen durch, um die Abbildung korrekt auszurichten. Hierdurch wird zudem eine eventuelle Schrägstellung beim Scanvorgang, die sich im Digitalisat wiederfindet, ausgeglichen.

Ist dies erfolgt, ist die Zeichnung bereits eingehängt und im 3D-Modell verfügbar. Auch bei einem größeren Zeichnungsarchiv ist so in relativ kurzer Zeit der Aufbau eines dreidimensionalen Modells der Planums-, Profil-, Befund- und Schnittzeichnungen möglich.

Für eine verbesserte Darstellung wäre es wünschenswert, dass irrelevante Bereiche der Zeichnung entfernt werden können, was ebenfalls über den Zeichnungseditor in Pantora realisierbar ist. Über das Menü *Grabungskante*<sup>28</sup> ist ein Nachzeichnen eben dieser möglich. Nach dem Speichern der Zeichnung wird der Bereich zwischen Grabungskante und Bildrand abgeschnitten, beziehungsweise von der technischen Seite betrachtet der Alpha-Kanal, der die Transparenzinformationen jedes Pixels speichert, für alle in diesem Bereich befindlichen Pixel auf maximale Transparenz gesetzt. Im 3D-Modell ist dieser Bereich dadurch ausgeblendet. Da es vereinzelt vorkommen kann, dass auch innerhalb einer Zeichnung Bereiche wie beispielsweise moderne Störungen oder Installationen existieren, bietet Pantora zusätzlich die Funktion, beliebige transparente Bereiche zu definieren<sup>29</sup>, die im Modell ebenfalls vollen Transparenzwert erhalten.

---

<sup>27</sup> Tafel 31

<sup>28</sup> Tafel 32

<sup>29</sup> Tafel 33

Hinter dem Reiter *Befundgrenzen*<sup>30</sup> verbirgt sich das zweite im Rahmen dieser Magisterarbeit gesetzte Ziel: die Möglichkeit, Befundgrenzen direkt auf der Zeichnung zu separieren. Mittels Mausklick können diese Punkt für Punkt nachgezeichnet und im Anschluss mit einer Farbe versehen werden. Die Umbenennung der gezeichneten Grenze erfolgt durch Doppelklick auf den entsprechenden Listeneintrag. Aufgrund der Tatsache, dass eine Befundgrenze per se mindestens zwei Befunde voneinander trennt, besteht die Möglichkeit, die ausgewählte Grenze zu duplizieren. Im Anschluss an den Zeichen- oder Dupliziervorgang können Punkte der ausgewählten Grenze entfernt, oder auch weitere hinzugefügt werden. In der derzeitigen Version ist das Entfernen von Punkten nur einzeln möglich, in einer folgenden Version wird es möglich sein, mehrere auszuwählen und zu löschen. Zudem soll das Hinzufügen überarbeitet werden. Die Befundgrenzen sind unmittelbar nach dem Übernehmen der Änderungen im 3D-Modell zu sehen.<sup>31</sup>

### 4.2.4 Ausblick auf eine mögliche Weiterentwicklung

Für eine bessere Bedienbarkeit sollte zunächst die verschachtelte Baumstruktur überarbeitet werden. Eine Aufteilung zwischen Befundgrenzen und Zeichnungen würde die Benutzung bereits erheblich erleichtern. Um die Funktion, einzelne Objekte ein- und auszublenden, effektiv nutzen zu können, wäre zudem eine Gruppierung von Elementen wünschenswert, über die dann auch mehrere Befundgrenzen zu einem eigentlichen Befund zusammengefasst werden könnten.

Hohe Priorität hat zudem die Bereitstellung einer Funktion zum Exportieren der extrahierten Befundgrenzen, um die Daten auch in anderen Programmen wie beispielsweise CAD- oder GIS-Anwendungen verwenden zu können. Bei der Programmierung der Speicherfunktionen für Daten- und Dateistruktur wurde bereits darauf geachtet, dass dies in einem menschenlesbaren Format erfolgt. Dem im vorangegangenen Kapitel erörterten Konsens folgend fiel die Wahl auf XML, wobei in der eingereichten Version noch kein Standardschema zum Einsatz kommt. Die derzeitige Struktur der XML-Datei<sup>32</sup> orientiert sich an der *Pantora*-internen Verwaltung der Ressourcen. Die importierten Scans und die aus dem Ausschneiden der Zeichnungen resultierenden Bilder befinden sich in Unterordnern, die Benennung erfolgt nach der für den Benutzer unsichtbaren, eindeutigen Identifikationsnummer der Scans und Zeichnungen, die in der Speicherdatei eingetragen ist und intern als Referenz zu diesen Dateien benutzt wird. Die Interpretation der Einträge ist zwar auch ohne Einsatz

---

<sup>30</sup> Tafel 34

<sup>31</sup> Tafel 35

<sup>32</sup> Tafel 36

der Software möglich, gestaltet sich allerdings umständlich. Im Verlauf einer möglichen Weiterentwicklung des Programms soll eruiert werden, welche der offenen Standard-XML-Formate für das Datenschema von *Pantora* in Frage kommt und der Speichervorgang an dieses angepasst werden. Des weiteren sollen die Koordinatenangaben der Befundgrenzen, die momentan nur in Pixelkoordinaten und somit lediglich relativ zur Zeichnung gespeichert werden, durch die absolute Koordinaten des örtlichen Systems ergänzt werden.

Im Sinne der angestrebten Separation der Daten für eine computergestützte Weiterverarbeitung bietet *Pantora* bereits eine grundlegende Funktionalität: den Export der Befundgrenzen in das in dieser Arbeit bereits vorgestellte Vektorgrafikformat SVG. Durch den diesem Format zugrunde liegenden, offenen Standard auf XML-Basis ist es hervorragend für eine langfristige Les- und Interpretierbarkeit der damit abgespeicherten Daten geeignet. Zudem stellt es einen idealen Behälter für die mit *Pantora* extrahierten Befundgrenzen dar, da sich zum einen Punktabgaben in Pixelkoordinaten speichern und zum anderen Punkte zu Pfaden gruppieren lassen. Beim Speichern eines *Pantora*-Projekts wird daher für jede Zeichnung neben den einer Datei im Rastergrafik-Format<sup>33</sup> zusätzlich eine SVG-Datei angelegt, in der die Befundgrenzen wie nachgezeichnet als Pfade gespeichert werden<sup>34</sup>. Über die in der *Pantora* XML-Datei abgelegten Einhängpunkte der Zeichnung lassen sich die zur Zeichnung relationalen 2D-Pixelkoordinaten in die entsprechenden Koordinaten des örtlichen Grabungssystems umrechnen. Durch die XML-Basis lassen sich die SVG Dateien problemlos in andere Formate überführen, wobei auch das für einen Import in AutoCAD nötige DXF-Format kein Problem darstellt<sup>35</sup>. Des weiteren bietet das SVG-Format zudem die Option, Bitmapgrafiken im Rasterformat einzubinden, wodurch ermöglicht wird, auch die ausgeschnittenen Zeichnungen bei einem vollständigen Export der Daten anzuhängen und somit eine komplette Daten- und Informationsübertragung von *Pantora* in ein externes Programm zu realisieren.

Das Trennen von Raster- und Vektordaten, die in einer Zeichnung enthalten sind, bedeutet einen großen Informationsgewinn im Vergleich zu den reinen Rasterdateien, die ein einfacher Scan liefert. Das Hauptziel, eine mögliche Vernetzung von klassischen und modernen Methoden der Archäologie vorzustellen, wäre hiermit erreicht.

Einer Weiterentwicklung von *Pantora* sind prinzipiell keine Grenzen gesetzt. Neben dem soeben beschriebenen Export der Daten in andere Formate, würden die Separation

---

<sup>33</sup> Tafel 37

<sup>34</sup> Tafel 38

<sup>35</sup> Tatsächlich bieten viele Programme eine derartige Konvertierung bereits an. Ein Open-Source-Beispiel hierfür ist unter <http://code.google.com/p/svg2dxf/> [08.10.2013] zu finden

der noch immer in der Zeichnung vorhandenen Informationen im Vordergrund stehen. Die Nivellementpunkte jeder Zeichnung könnten per einfachem Mausklick gesetzt und im Anschluss mit der Höhenangabe versehen werden. Zu diesem Zweck könnte in einem getrennten Fenster die entsprechende Nivellementtabelle angezeigt werden, die aus dem Gesamtscan extrahiert wurde. Für den Fall, dass die Höhenangaben auf einem anderen Blatt, das ebenfalls als Scan vorliegt, vermerkt wurden, würde sich die Option anbieten, zusätzliche Bilddaten mit der Zeichnung verknüpfen zu können. Auf die gleiche Weise könnte mit den Legenden zur Zeichnung umgegangen werden, wobei es ebenso keine Rolle spielen würde, ob diese direkt aus dem Scan ausgeschnitten oder für alle Zeichnungen global gültig eingebunden wird. Ein ähnliches Vorgehen wäre auch zur Einbindung von Digitalfotos in *Pantora* denkbar.

Die verwaltungstechnischen Daten aus dem Kopf der Zeichnung sollten in jedem Falle in Textform übertragbar sein, was über eine Eingabemaske im Scan- oder Zeichnungseditor recht einfach realisierbar ist. Allerdings sollte vermieden werden, hierbei einem statischen Muster zu folgen, wie es bei einer klassischen Datenbank üblich ist. Die im Laufe der vergangenen 20 Jahre entwickelten, zahllosen Individuallösungen, auf die bereits eingegangen wurde, lassen sich im Zuge einer Zusammenführung von Forschungsdaten nur umständlich auf einen gemeinsamen Nenner bringen. Da *Pantora* keine weitere Datenbanklösung darstellen soll, wäre eine denkbare Umsetzung dieser Idee eine Art Verschlagwortung des Textes, in ein auf Textkodierung ausgelegtes XML-Schema eingefasst, wie beispielsweise das bereits vorgestellte TEI-Format.

Auch für die Befundbeschreibungen, für die ebenfalls Scans der Papiervorlage als Quelle dienen könnte, wären die Überführung in ein solches Schema denkbar. Da Handschriften im Gegensatz zu maschinengeschriebenen Dokumenten aufgrund der hohen Varianz der Ausführung noch immer schwer automatisiert digitalisierbar sind<sup>36</sup>, wäre bei einer von Hand durchgeführten Übertragung ins Digitale eine Verschlagwortung der erwähnten Befunde oder aber auch der darin beschriebenen Eigenschaften durchaus eine sinnvolle Ergänzung. Bereits das dadurch ermöglichte Suchen nach Befunden, würde dem Bearbeiter einer auf dieser Weise umgesetzten Grabung eine große Hilfe sein. Um den Gedanken fortzuführen, könnte so die Vernetzung von Befundbeschreibungen und Zeichnungen realisiert und dies zudem auf die Funde erweitert werden, die ebenfalls recht einfach verschlagwortet und mit Koordinaten zur Einbindung in das 3D Modell versehen werden könnten.

---

<sup>36</sup> Feldmann 2001

Eine andere Richtung, in die sich die Weiterentwicklung bewegen könnte, wären Interoperabilität und Kollaboration. Das heutzutage zumindest im universitären Bereich auf der ganzen Welt verfügbare Hochgeschwindigkeitsinternet ermöglicht einen schnellen Austausch auch von großen Datenmengen und so könnten *Pantora* die importierten Scans als identische Kopie im Projektverzeichnis ablegen und das gesamte Projekt über eine Schnittstelle auf einen Server laden. Ein Versionierungsdienst, über den zu jeder Zeit ein früherer Zustand des Projekts wiederhergestellt werden kann, könnte als solche Schnittstelle dienen, über die die auf dem Rechner des Anwenders liegenden lokale Arbeitskopien der Projektdaten bei jedem Laden und Speichern abgeglichen werden könnten.

Bei einer Weiterentwicklung sollte jedoch in jedem Falle die Übersichtlichkeit der Funktionen und die intuitiv gehaltene Bedienung im Vordergrund stehen und bei einem drohenden Verlust dieser eher auf zusätzliche Funktionen verzichtet werden. Durch eine sinnvolle Erweiterung könnte *Pantora* ein hilfreiches Werkzeug für die Aufarbeitung von Altgrabungen und deren Überführung in digitale Formate werden.

## 5 Fazit

Die Möglichkeiten, die die modernen Aufnahme- und Auswertungsmethoden mit sich bringen, bedeuten einen großen Gewinn für die archäologische Forschung. Im Laufe der Jahrzehnte, in denen sich der Einsatz von IT-Hilfsmitteln in den Altertumswissenschaften entwickelt hat, nahm die Leistung der Computer exponentiell zu und heutzutage sind komplexe Berechnungen und die Aufnahme und Verarbeitung von gewaltigen Datenmengen innerhalb kürzester Zeit möglich.

Auf die Frage, welche Daten auf Ausgrabungen gewonnen werden und wie sich deren Struktur gestaltet, kann keine pauschale Antwort gegeben werden. Die Komplexität der Fundsituationen und die stetige Ungewissheit, was durch die Untersuchung der Bodendenkmäler zu Tage kommt, verbietet eine pauschale Aussage darüber, welche Methoden eingesetzt werden dürfen, können oder sogar müssen. Der gemeinsame Konsens ist die Erhaltung der zu Tage gebrachten Informationen im größtmöglichen Umfang, der jedoch durch viele Einflüsse, allen voran durch die Faktoren Zeit und Finanzen, beschränkt wird. Unterschiedliche Grundansätze in der Grabungstechnik, die unter anderem von Vorgaben des Landes und dem untersuchten Kulturkreis entscheidend geprägt ist, erschweren die Suche nach einer gemeinsamen, fest definierten Quelle und einem klaren Ziel der Datenerhebung.

Die klassischen Methoden liefern jedoch einen gemeinsamen Nenner, der als Basis für eine Vernetzung aller gewonnenen Daten und Informationen dient: die Vermessungskunde. Sämtliche durch eine Grabung gewonnenen Erkenntnisse lassen sich auf ihren räumlichen Kontext zurückführen und grundsätzliche Fragen, die an Funde und Befundsituationen gestellt werden, finden letztendlich dort ihren Ansatzpunkt. Dies hat gleichwohl für moderne, computergestützte Datenaufnahmen wie auch für die altbewährten, analogen Vorgehensweisen Gültigkeit.

Im Sinne der größtmöglichen Informationsausbeute darf nicht versucht werden, die konventionellen Methoden durch digitale Verfahren zu ersetzen, vielmehr sollten beide unterstützend für die jeweils andere genutzt werden. Die Vermessungskunde liefert die Schnittstelle hierfür. Um die modernen Methoden der EDV auch auf die während der gesamten Forschungsgeschichte der Archäologie aufgenommenen, analogen Daten anwenden zu können, müssen diese zunächst in digitale Formate überführt werden. Das *Scanning* ist sowohl in der zweiten Dimension für Bilder, Zeichnungen und anderen Daten auf Papierbasis, als auch in 3D für Objekte hierfür ein probates Mittel. Im 2D-Bereich können die Informationen fast identisch übertragen werden, sind allerdings zunächst an das entsprechende Format gebunden. Handschriftliche Texte und Zeichnungen beinhalten jedoch Inhalte, die durch ein Digitalbild zwar festgehalten, aber erst durch Nachbearbeitung im vollen Umfang extrahiert und so für eine digitale Weiterverarbeitung bereitgestellt werden können. Mit

der Entwicklung von *Pantora* wurde versucht, für diesen Vorgang der *Retrodigitalisierung* einen Weg aufzuzeigen, wie er aus Sicht der archäologischen Anwendung aussehen könnte.

Betrachtet man die Entwicklung der computergestützten Ausgrabung, ist eine Tendenz zum Ansammeln von großen Datenmengen erkennbar. Hierbei muss jedoch zwingend beachtet werden, dass sich Datenmenge auf der einen Seite und Relevanz der Daten und Information auf der anderen die Waage halten. Im Vergleich zum Ende des letzten Jahrtausends bieten moderne Systeme Kapazitäten für eine fast unbegrenzte Datenmenge, was zu einer Anhäufung von irrelevanten oder redundanten Datensätzen verleiten kann, wodurch bei einer Auswertung zusätzliche Zeit für das Herausfiltern der wichtigen Daten und Informationen investiert werden muss.

Von besonderer Bedeutung für die Altertumswissenschaften ist die Suche nach einer nachhaltigen Lösung zur Speicherung der digitalen Daten, die erst in den letzten Jahren zunehmend in den Vordergrund gerückt ist. Durch die unvermeidbare Zerstörung des im Rahmen von Ausgrabungen erforschten Kulturguts steht die Archäologie in der Pflicht, die gewonnenen Daten, ob analog oder digital, für die Nachwelt zu sichern. Durch den Grabungsvorgang werden die erhobenen Informationen zur alleinigen Quelle für das so verlorene kulturelle Erbe der Menschheit.

Auf der digitalen Seite muss daher nicht nur die zukünftige Verständlichkeit der Daten gewährleistet sein, für die der Einsatz von freier, quelloffener Software und die Nutzung der entsprechenden, auf offenen Standards beruhenden Formaten ein großer Schritt in die richtige Richtung bedeutet. Auch für die Verfügbarkeit der Daten muss die Forschung Sorge tragen, die in direkter Weise von den eingesetzten Speichermedien abhängt. Die derzeitigen Bestrebungen, eine Lösungen zur Langzeitarchivierung zu finden, zeigen, dass unser Wissenschaftszweig die Problematik der Haltbarkeit von Daten bereits erkannt hat. Für die in den letzten 20 Jahren exponentiell gewachsenen Datenmengen, gespeichert auf Datenträgern, die - wie heute bekannt ist - nur einen kleinen Bruchteil der Zeit halten, die sie vor der archäologischen Untersuchung relativ unbeschadet unter der Erde überdauert haben, muss dringend eine dauerhafte Lagermöglichkeit gefunden werden. Durch Aufklärung und verpflichtende Vorgaben, wie diese Daten langfristig zu sichern sind, werden auch zukünftige Generationen mit den digitalen Informationen arbeiten können.

# Tafelverzeichnis

1	<a href="http://trestle.icarnegie.com/content/SSD/SSD2/4.4-Mx/normal/pg-computer-sys/pg-data-representation/pg-bits-and-bytes/ASCII.jpg">http://trestle.icarnegie.com/content/SSD/SSD2/4.4-Mx/normal/pg-computer-sys/pg-data-representation/pg-bits-and-bytes/ASCII.jpg</a> [14.08.2013] . . . . .	81
2	nach Pauli 1975, Abb. S.31 . . . . .	82
3	Kern 2008, Abb. S.123 . . . . .	83
4	Kern 2008, Abb. S.123 . . . . .	83
5	nach: <a href="http://de.wikibooks.org/wiki/Datei:DivideAStraightLine.svg">http://de.wikibooks.org/wiki/Datei:DivideAStraightLine.svg</a> [24.08.2013] . . . . .	84
6	Prasuhn 1995, Abb. 5.2 S.112 . . . . .	84
7	Kinne 2006, Abb. S.19 . . . . .	85
8	Bild des Autors . . . . .	85
9	Gersbach et al. 1998, Abb. 30, S.74 . . . . .	86
10	Kahmen 1997, Abb. 4.2-2, S.68 . . . . .	86
11	Bild des Autors . . . . .	87
12	Eichstaed 1985, Abb. S.77 . . . . .	87
13	Gersbach et al. 1998, Abb. 34, S.79 . . . . .	88
14	Gersbach et al. 1998, Abb. 56, S.127 . . . . .	89
15	Jähne 2005, Abb. 7.3, S.203 . . . . .	89
16	<a href="http://sodwana.uni-ak.ac.at/geom/mitarbeiter/files/dgla7.pdf">http://sodwana.uni-ak.ac.at/geom/mitarbeiter/files/dgla7.pdf</a> , Abb.3 [11.10.2013] . . . . .	90
17	nach Niemeier – Kern 2001, Abb. 2 u. 3, S.136 . . . . .	90
18	Abbildung des Autors . . . . .	90
19	Mit freundlicher Genehmigung von Dr. Carsten Casselmann, Heidelberg. .	91
20	Unicode-Consortium: <a href="http://www.unicode.org/charts/PDF/U12000.pdf">http://www.unicode.org/charts/PDF/U12000.pdf</a> [24.09.2013] . . . . .	92
21	Unicode-Consortium: <a href="http://www.unicode.org/charts/PDF/U10080.pdf">http://www.unicode.org/charts/PDF/U10080.pdf</a> [24.09.2013] . . . . .	93
22	Häuber – Schütz 2004, Abb. I.14 S.27 . . . . .	94
23	<a href="http://www.micro-epsilon.de/download/manuals/ass--wireSENSOR-P96--de.pdf">http://www.micro-epsilon.de/download/manuals/ass--wireSENSOR-P96-- de.pdf</a> [05.10.2013] . . . . .	95
24	Mit freundlicher Genehmigung von Christian Seitz, Heidelberg . . . . .	95
25	Bild des Autors . . . . .	96
26	Bild des Autors . . . . .	96
27	Bild des Autors . . . . .	97
28	Bild des Autors . . . . .	97



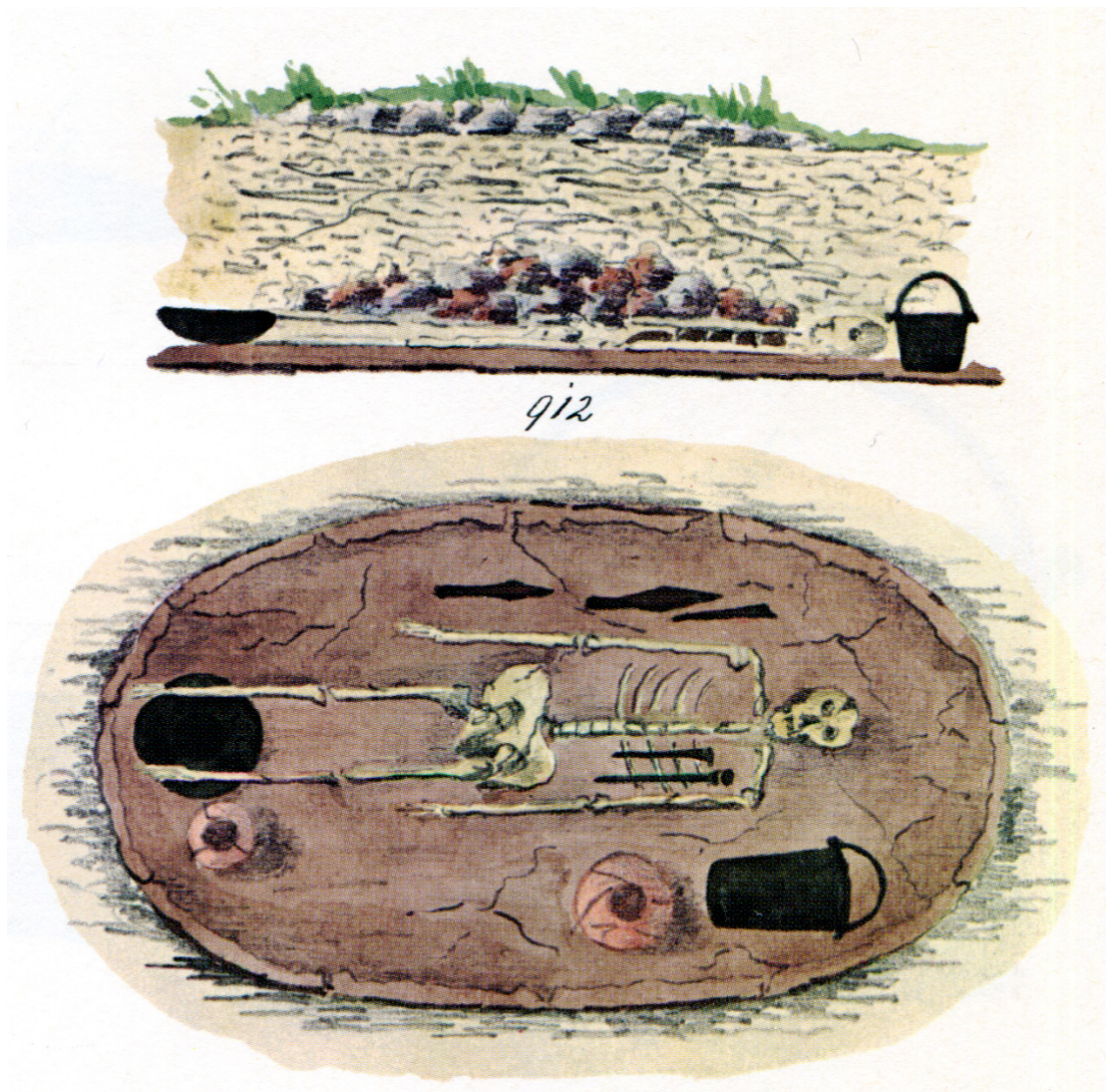
## *Tafelverzeichnis*

---

29	Bild des Autors . . . . .	98
30	Bild des Autors . . . . .	98
31	Bild des Autors . . . . .	99
32	Bild des Autors . . . . .	99
33	Bild des Autors . . . . .	100
34	Bild des Autors . . . . .	100
35	Bild des Autors . . . . .	101
37	Bild des Autors . . . . .	102
38	Bild des Autors . . . . .	102
36	Bild des Autors . . . . .	103

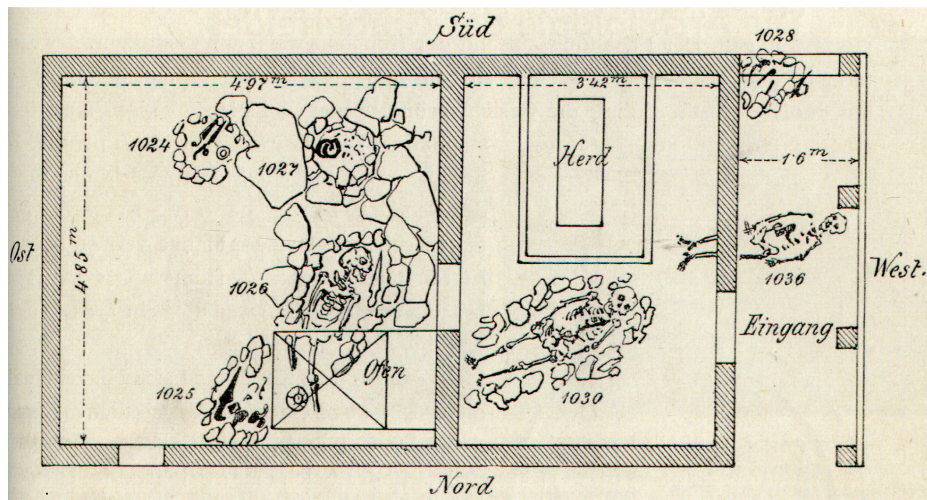
00100000	>	00111110	\	01011100	z	01111010	ÿ	10011000		10110110	£	11010100	¿	11110010
00100001	?	00111111	]	01011101	<	01111011	ü	10011001	n	10110111	F	11010101	£	11110011
00100010	@	01000000	^	01011110	!	01111100	ü	10011010	ñ	10111000	π	11010110	f	11110100
00100011	A	01000001	_	01011111	>	01111101	ç	10011011		10111001		11010111	J	11110101
00100100	B	01000010	`	01100000	~	01111110	£	10011100		10111010	±	11011000	±	11110110
00100101	C	01000011	a	01100001	△	01111111	¥	10011101	ñ	10111011	J	11011001	≈	11110111
00100110	D	01000100	b	01100010	Ç	10000000	£	10011110	g	10111100	r	11011010	°	11111000
00100111	E	01000101	c	01100011	ü	10000001	f	10011111	u	10111101	■	11011011	·	11111001
00101000	F	01000110	d	01100100	é	10000010	á	10100000	¡	10111110	■	11011100	·	11111010
00101001	G	01000111	e	01100101	â	10000011	í	10100001	¡	10111111	■	11011101	√	11111011
00101010	H	01001000	f	01100110	ä	10000100	ó	10100010	¡	11000000	■	11011110	n	11111100
00101011	I	01001001	g	01100111	à	10000101	ú	10100011	¡	11000001	■	11011111	z	11111101
00101100	J	01001010	h	01101000	ã	10000110	ñ	10100100	T	11000010	α	11100000	■	11111110
00101101	K	01001011	i	01101001	ç	10000111	ñ	10100101	†	11000011	ø	11100001	■	11111111
00101110	L	01001100	j	01101010	ê	10001000	ä	10100110	-	11000100	Γ	11100010		
00101111	M	01001101	k	01101011	ë	10001001	é	10100111	†	11000101	Π	11100011		
00110000	N	01001110	l	01101100	è	10001010	é	10101000	†	11000110	Σ	11100100		
00110001	O	01001111	m	01101101	ï	10001011	ç	10101001		11000111	σ	11100101		
00110010	P	01010000	n	01101110	î	10001100	ç	10101010		11001000	μ	11100110		
00110011	Q	01010001	o	01101111	ì	10001101	½	10101011		11001001	τ	11100111		
00110100	R	01010010	p	01110000	ñ	10001110	¾	10101100		11001010	̄	11101000		
00110101	S	01010011	q	01110001	ñ	10001111	¡	10101101		11001011	θ	11101001		
00110110	T	01010100	r	01110010	É	10010000	«	10101110		11001100	Ω	11101010		
00110111	U	01010101	s	01110011	æ	10010001	»	10101111	=	11001101	δ	11101011		
00111000	V	01010110	t	01110100	£	10010010		10110000		11001110	∞	11101100		
00111001	W	01010111	u	01110101	ô	10010011		10110001	±	11001111	§	11101101		
00111010	X	01011000	v	01110110	ö	10010100		10110010	μ	11010000	€	11101110		
00111011	Y	01011001	w	01110111	ò	10010101		10110011	⌋	11010001	∅	11101111		
00111100	Z	01011010	x	01111000	û	10010110	†	10110100	π	11010010	≡	11110000		
00111101	[	01011011	y	01111001	ù	10010111	†	10110101	u	11010011	±	11110001		

1: Der ASCII-Zeichensatz

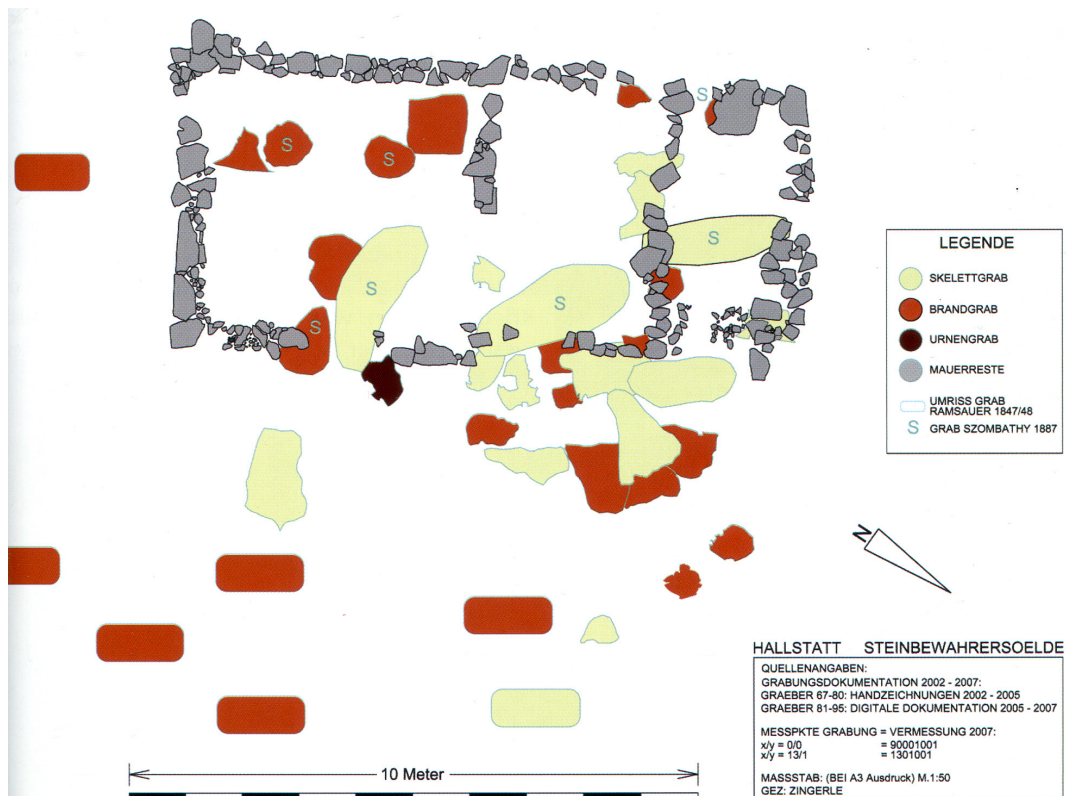


2: Aquarelle von Isidor Engl aus der Originaldokumentation des Fundorts Hallstatt: Grab 912 in Aufsicht und Seitansicht

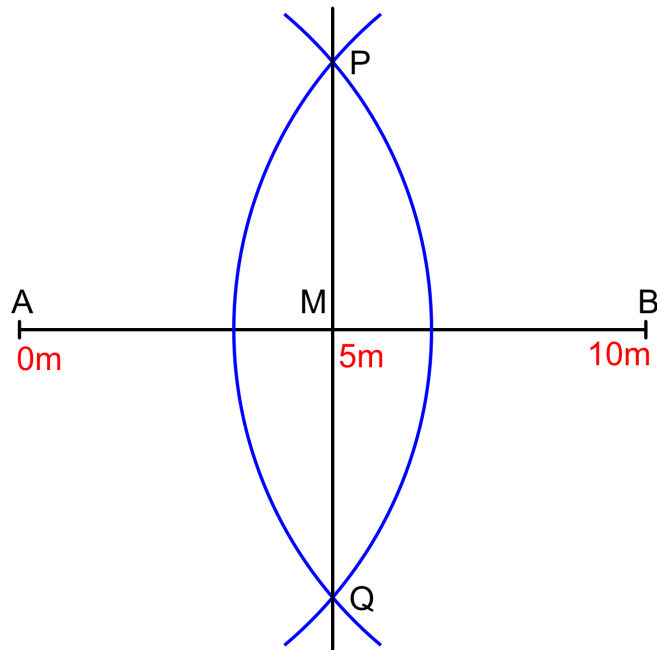




3: Steinbewahrerhütte in Hallstatt: Originalplan von 1886



4: Steinbewahrerhütte in Hallstatt: Digitaler Plan von 2007



5: Konstruktion der Mittelsenkrechte über Bogenschlag

				Y D	X H <sub>Z</sub>	Z V	
"	1	A	AP-Punkt	Y	135.760 X	22.480 Z	60.100"
"	2	E	AP-Punkt	Y	23.760 X	10.630 Z	57.840"
"	3	A	AP-Punkt	D	76.851 Hz	132.6532 V	101.3669"
"	4	E	AP-Punkt	D	82.096 Hz	232.9393 V	103.0332"
"	5	ST	Standpkt.	Y	77.499 X	72.570 Z	63.050"
"	6	ST	Standpkt.	ny	0.0000 mx	0.0000 mz	0.0000"
"	7	1	Parkplatz	Y	122.849 X	91.600 Z	63.810"
"	8	2	Parkplatz	Y	146.679 X	84.050 Z	63.520"
"	9	3	Parkplatz	Y	151.578 X	99.280 Z	63.900"
"	10	4	Parkplatz	Y	127.749 X	106.830 Z	64.200"
"	11	5	Zaun	Y	114.499 X	115.310 Z	64.670"
"	12	6	Zaun	Y	25.099 X	114.829 Z	63.370"

Eingegebene Koordinaten

Anschlußmessung

Berechneter Standpkt. und IH

Einzelpunkt-ausgleich

Berechnete Koordinaten aus Messung

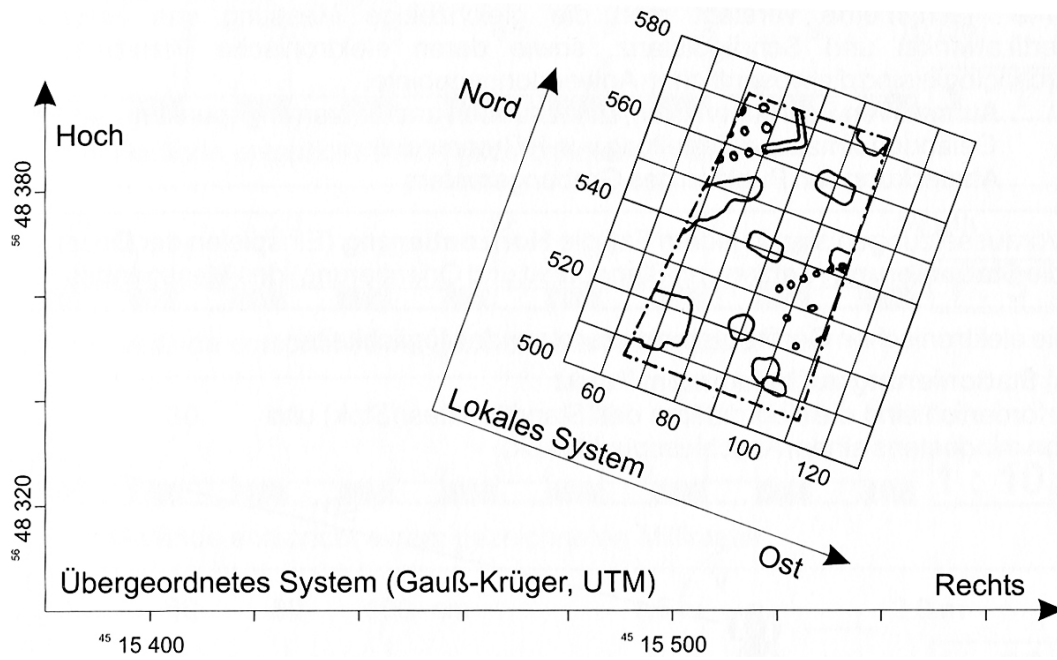
Spezifikation

Punktbezeichnung

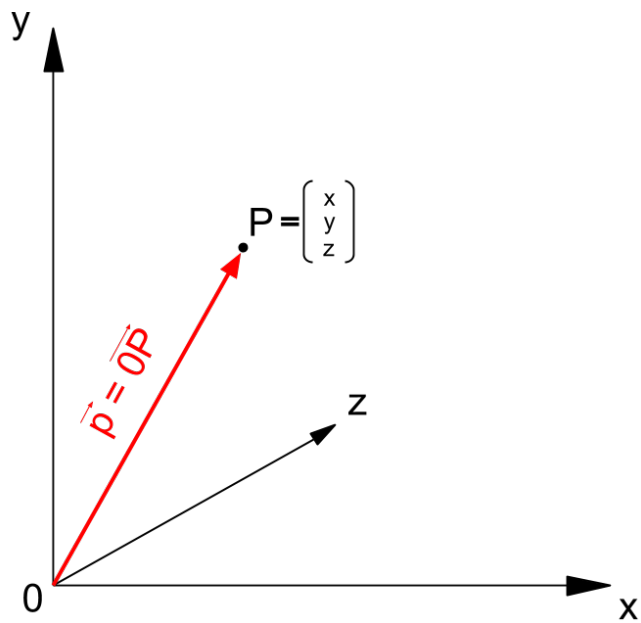
Datensatz-Nr. (Adresse)

Abb. 5.2/13: Fallbeispiel: Daten im Elektronischen Feldbuch (Zeiss Rec 500)

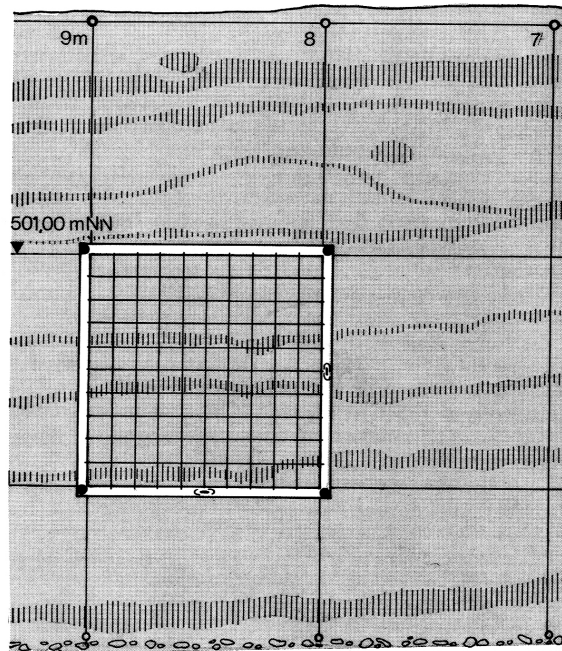
6: Daten im elektronischen Feldbuch Zeiss Rec 500



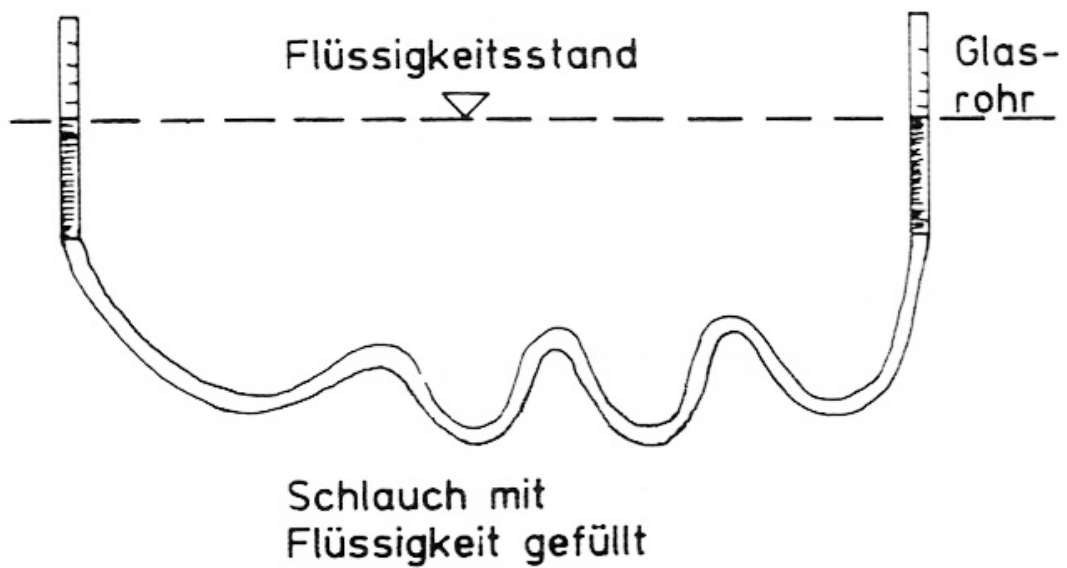
7: In das Gauß-Krüger-System eingehängte, lokale Koordinatensystem



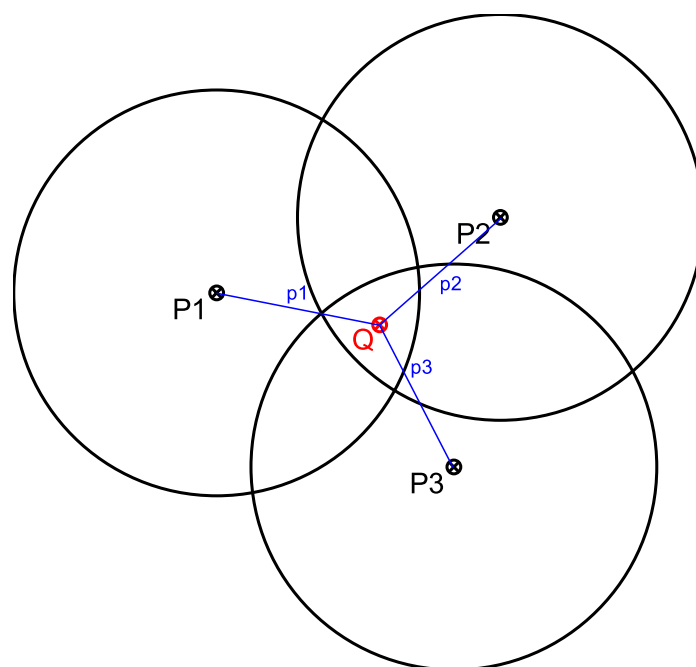
8: Vektor im 3D-Raum



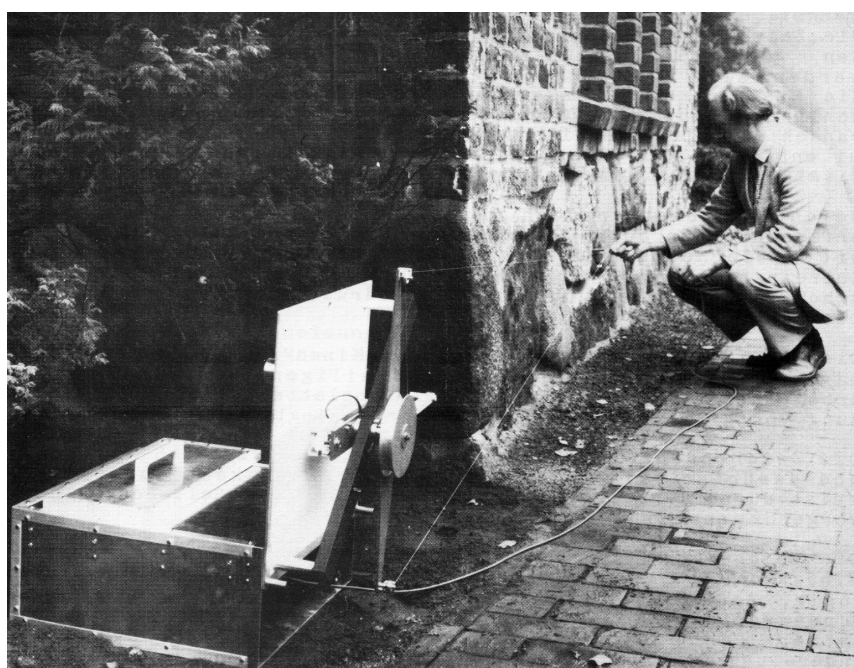
9: Aufnahme eines Profils mit Hilfe eines Zeichenrasters (10cm Rasterweite)



10: Funktionsprinzip der Schlauchwaage

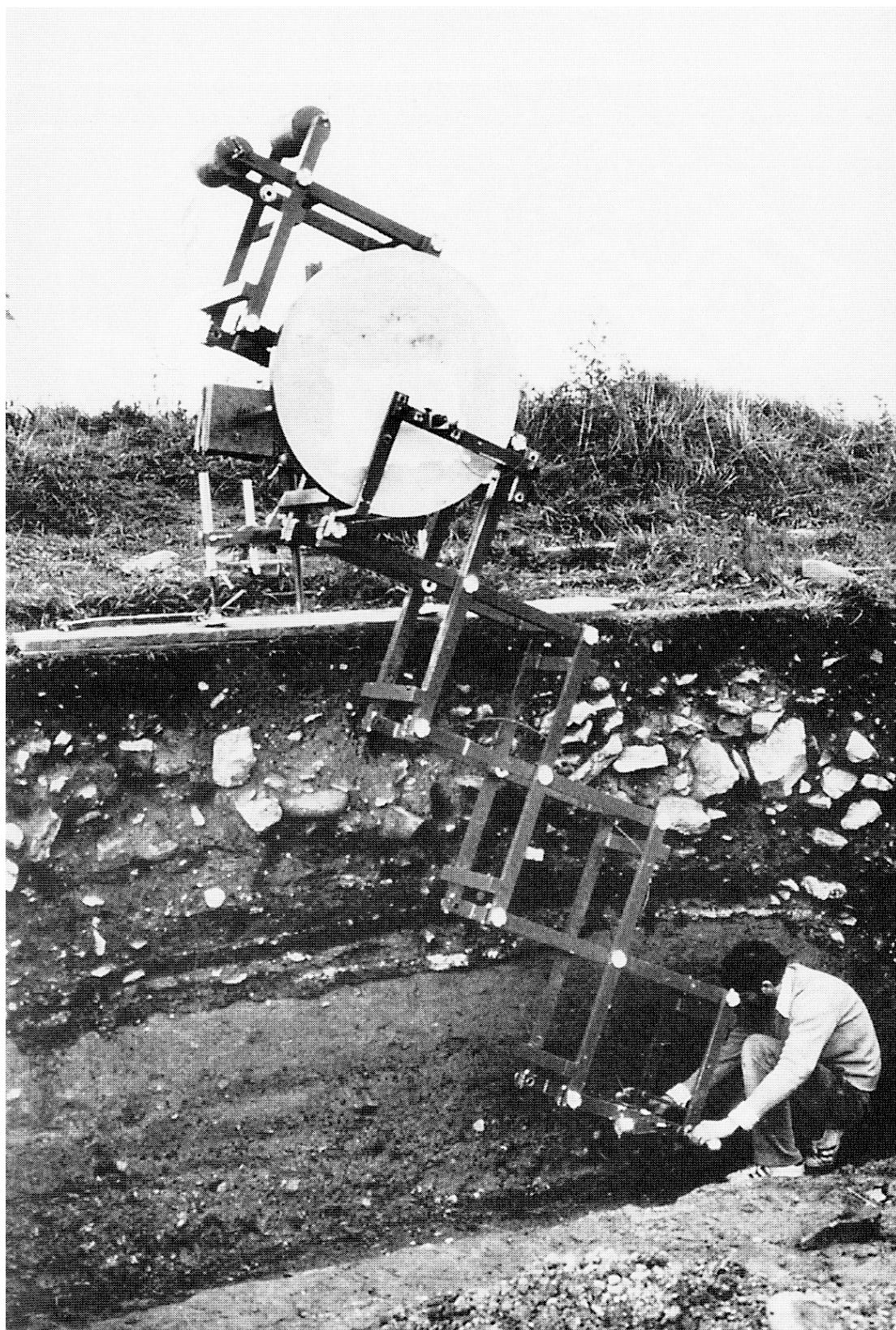


11: Triateration: Schema der Punktbestimmung in 2D

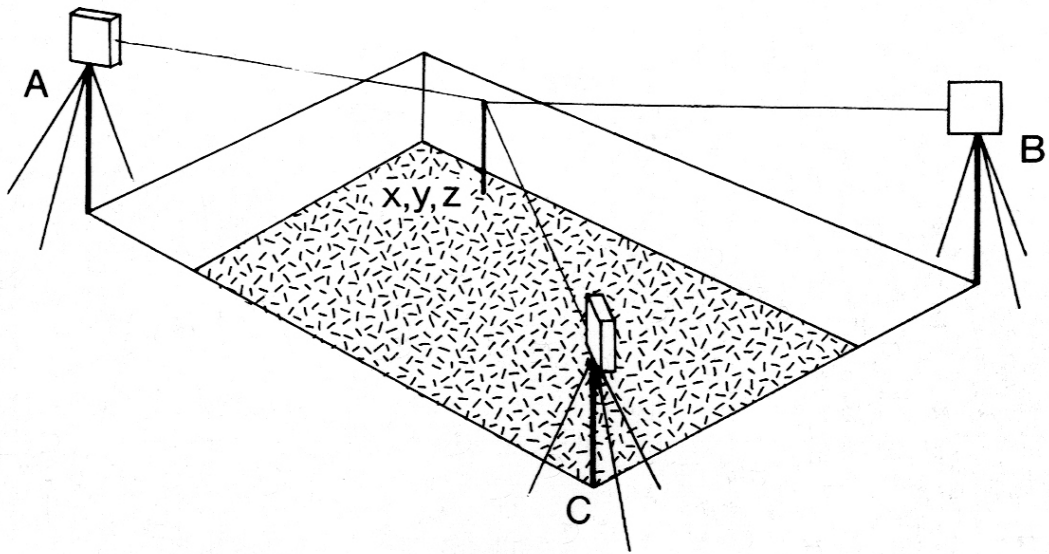


12: Feldpantograph *Eichstaedt*

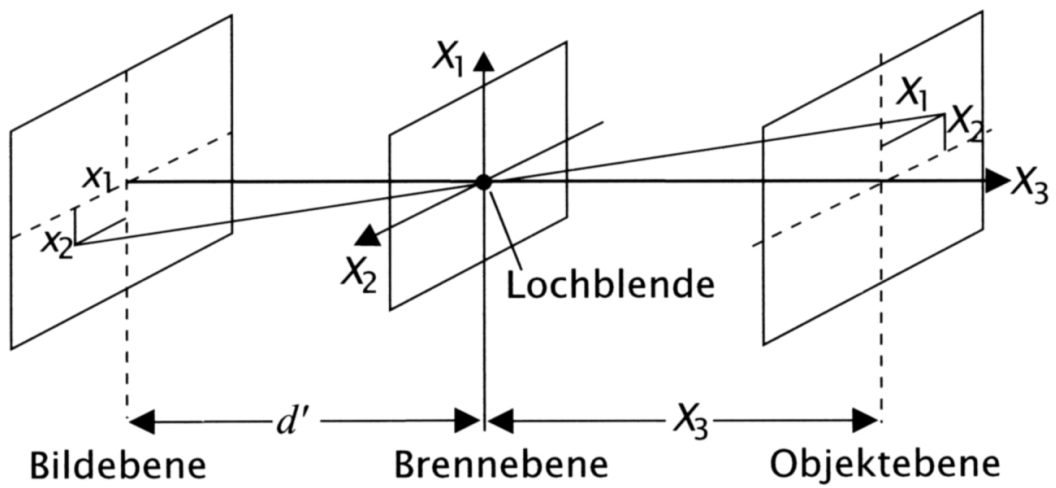




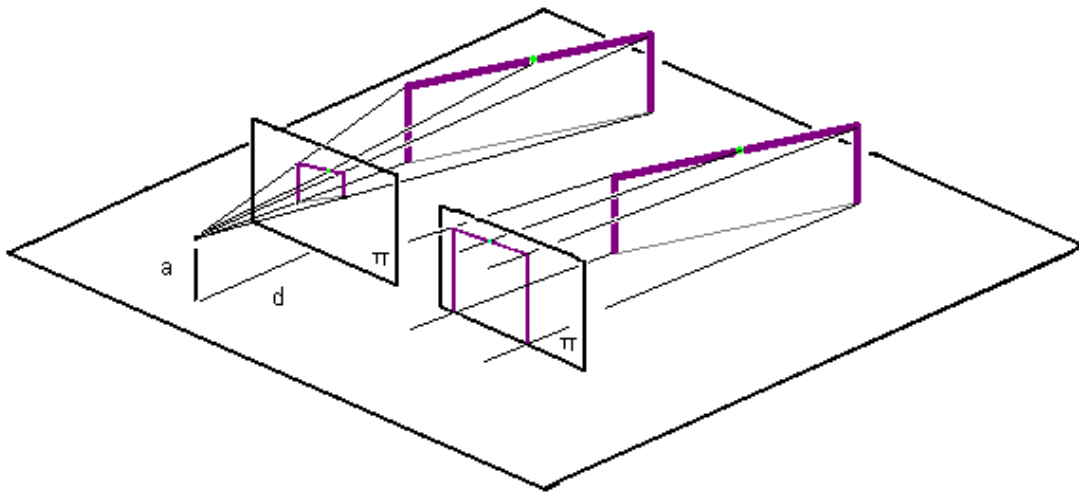
13: Profilaufnahme mit dem Feldzeichengerät *Kartomat*



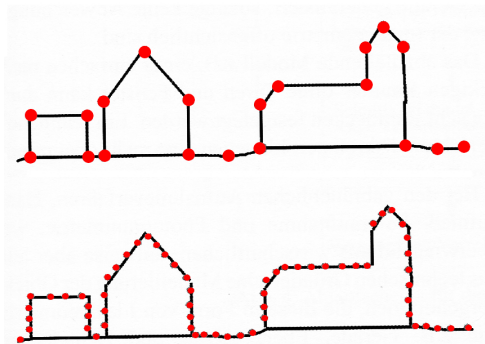
14: Funktionsprinzip des *Trigomat*



15: Schema der Lochkamera: Projektion des Objektpunktes auf die Bildebene



16: Vergleich zwischen Zentralprojektion (links) und Parallelprojektion (rechts).

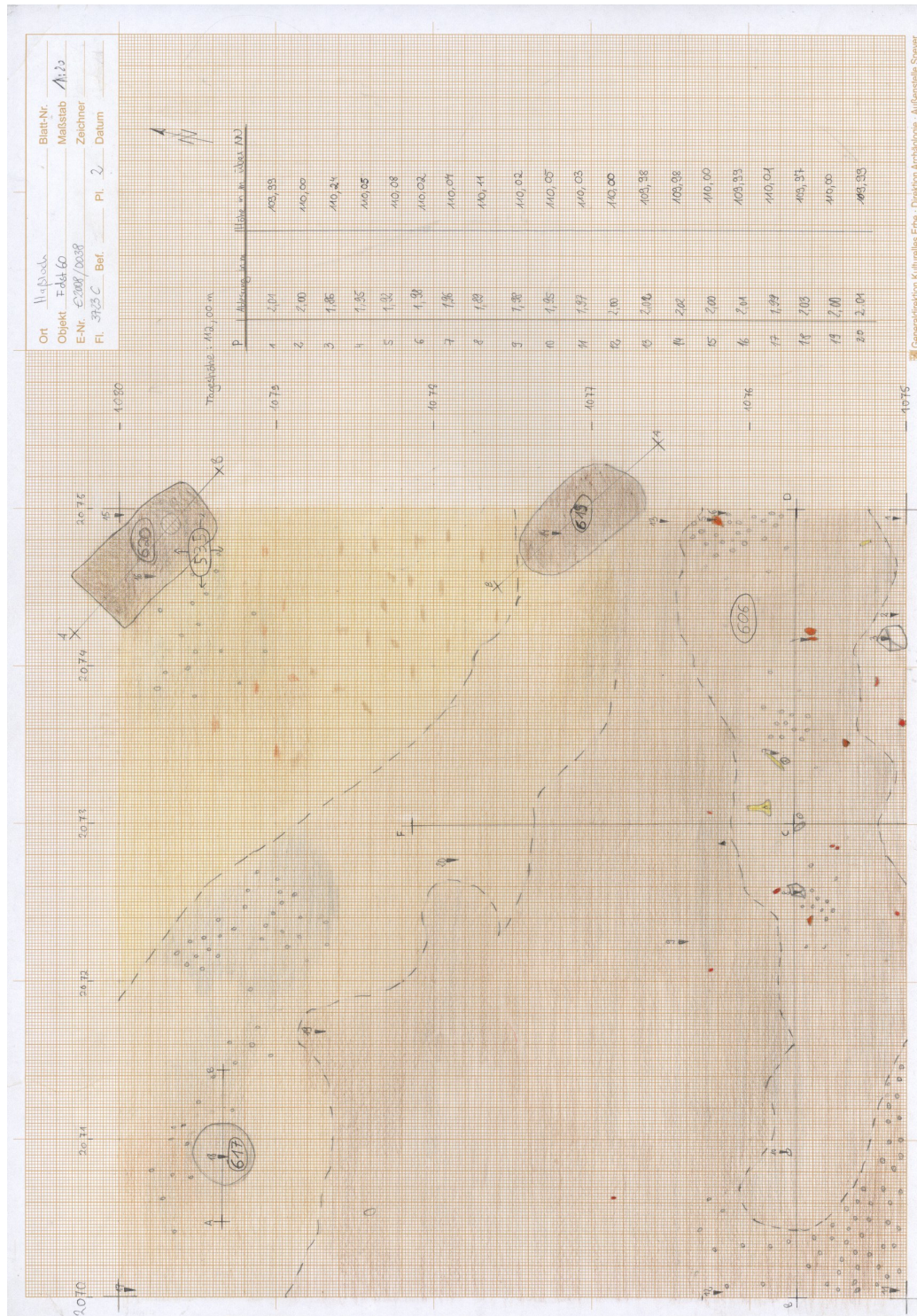


17: Vergleich der konventionellen Vermessung (oben) mit 3D-Scan (unten): Unterschied in Datenmenge und Relevanz der Daten

menschen- lesbar	H	e	l	l	o		W	o	r	l	d
ASCII- Tabelle											
Maschinen- code	01001000 01100101 01101100 01101100 01101111 00100000 01010111 01101111 01110010 01101100 01100100										

18: Die Textkette „Hello World“ in menschenlesbaren Buchstaben und über die ASCII-Codetabelle in Maschinencode übersetzt





19: Planumszeichnung eines Quadranten aus der Lehrgrabung Hasloch des Instituts für Ur- und Frühgeschichte der Universität Heidelberg im Jahr 2011






















































*The Unicode Standard 6.2, Copyright © 1991-2012 Unicode, Inc. All rights reserved.*

# Tafelverzeichnis

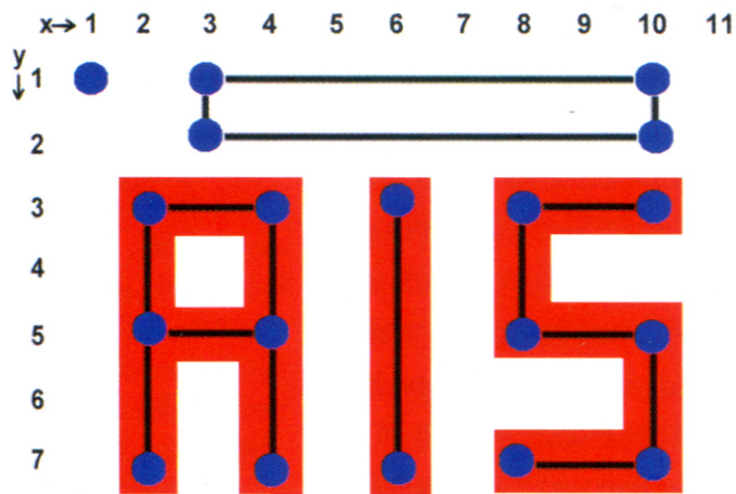
10080

Linear B Ideograms

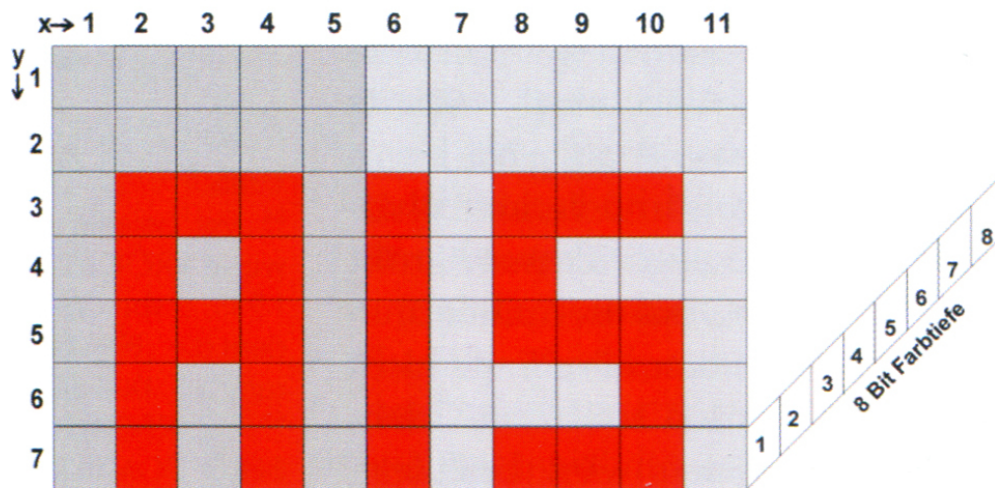
100FF

	1008	1009	100A	100B	100C	100D	100E	100F
0	 10080	 10090	 100A0	 100B0	 100C0	 100D0	 100E0	 100F0
1	 10081	 10091	 100A1	 100B1	 100C1	 100D1	 100E1	 100F1
2	 10082	 10092	 100A2	 100B2	 100C2	 100D2	 100E2	 100F2
3	 10083	 10093	 100A3	 100B3	 100C3	 100D3	 100E3	 100F3
4	 10084	 10094	 100A4	 100B4	 100C4	 100D4	 100E4	 100F4
5	 10085	 10095	 100A5	 100B5	 100C5	 100D5	 100E5	 100F5
6	 10086	 10096	 100A6	 100B6	 100C6	 100D6	 100E6	 100F6
7	 10087	 10097	 100A7	 100B7	 100C7	 100D7	 100E7	 100F7
8	 10088	 10098	 100A8	 100B8	 100C8	 100D8	 100E8	 100F8
9	 10089	 10099	 100A9	 100B9	 100C9	 100D9	 100E9	 100F9
A	 1008A	 1009A	 100AA	 100BA	 100CA	 100DA	 100EA	 100FA



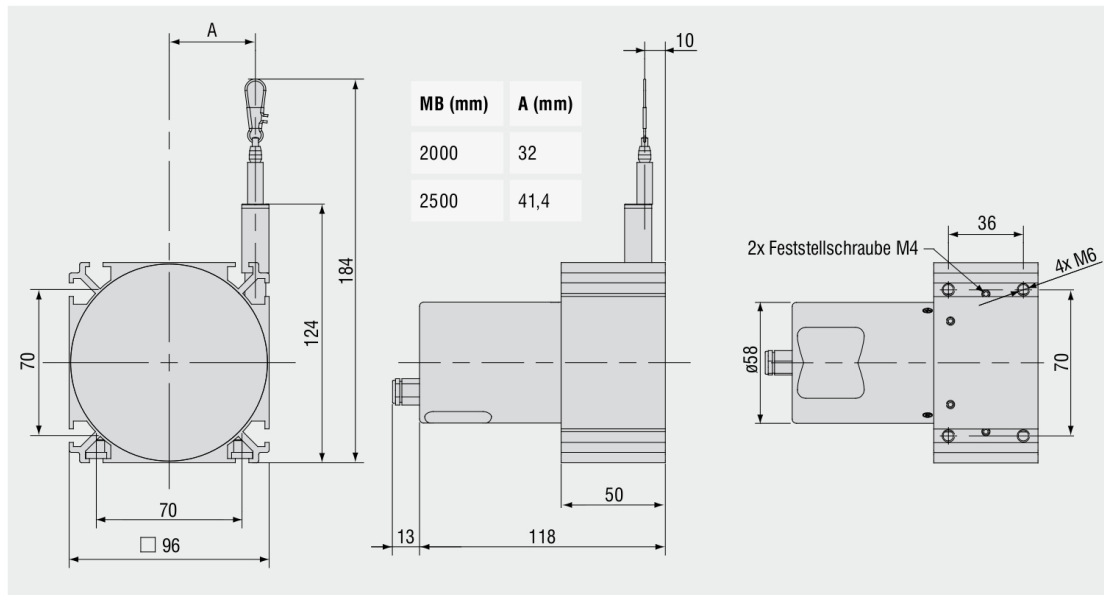


## Vektorgraphik

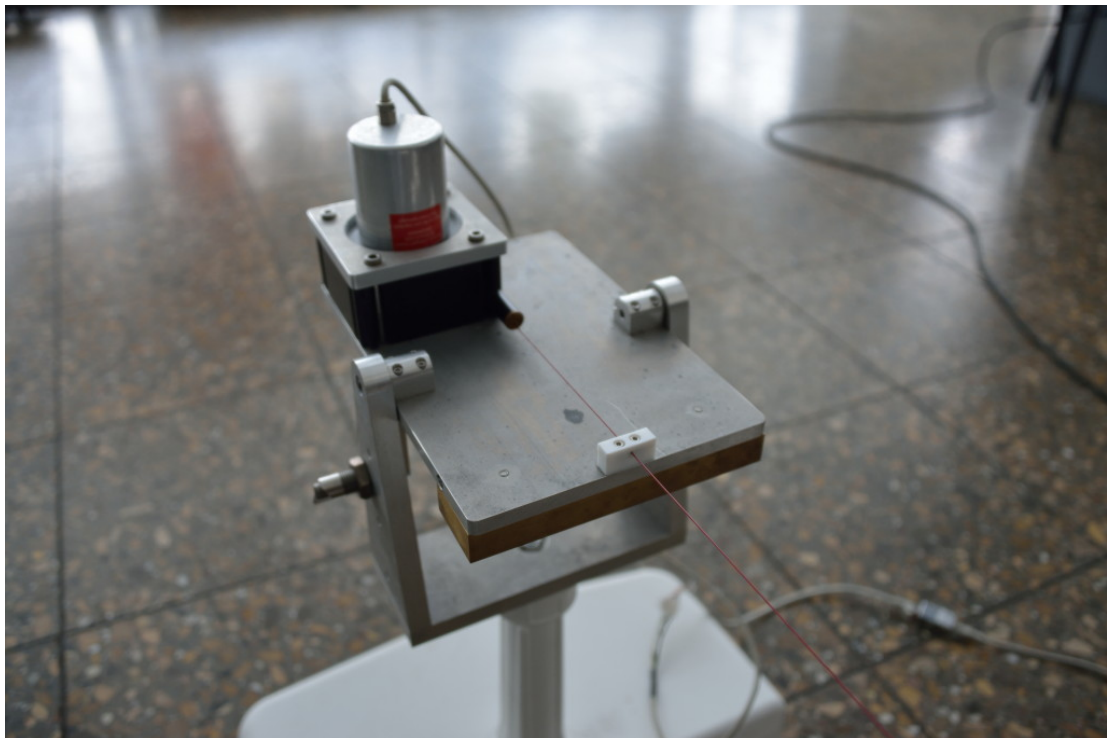


## Rastergraphik

22: Unterschied zwischen Vektorgrafiken, deren Darstellung auf Pfaden und Geometrieprimitiven besteht, und Rastergrafik, die Farbinformationen, die für jeden Rasterpunkt Farbwerte speichern.



23: Der Seilzug-Sensor WDS-2000-P96-CA-P der Firma *MicroEpsilon*

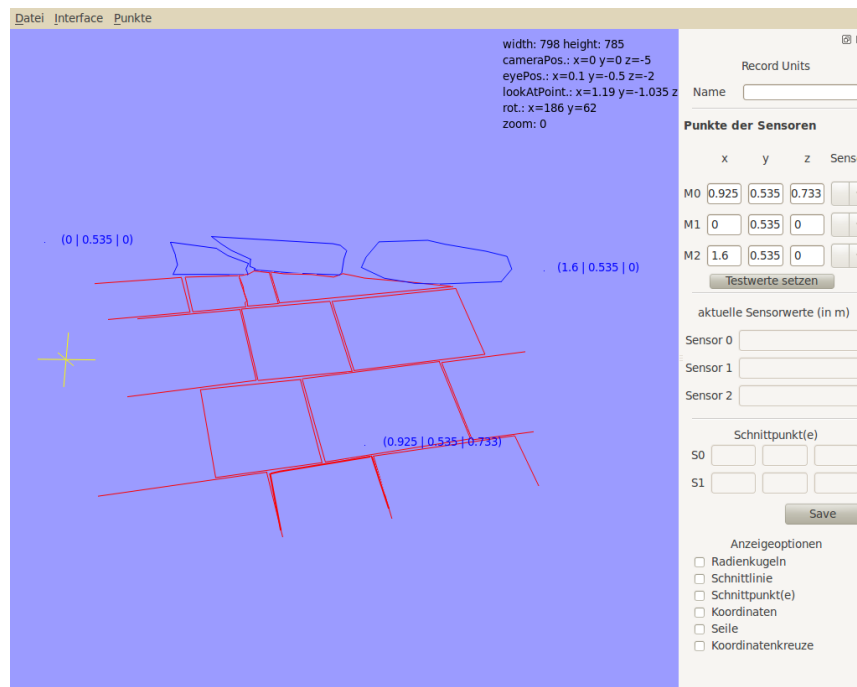


24: Pantora-Hardware: Freibewegliche Haltevorrichtung mit montiertem Seilzug-Sensor

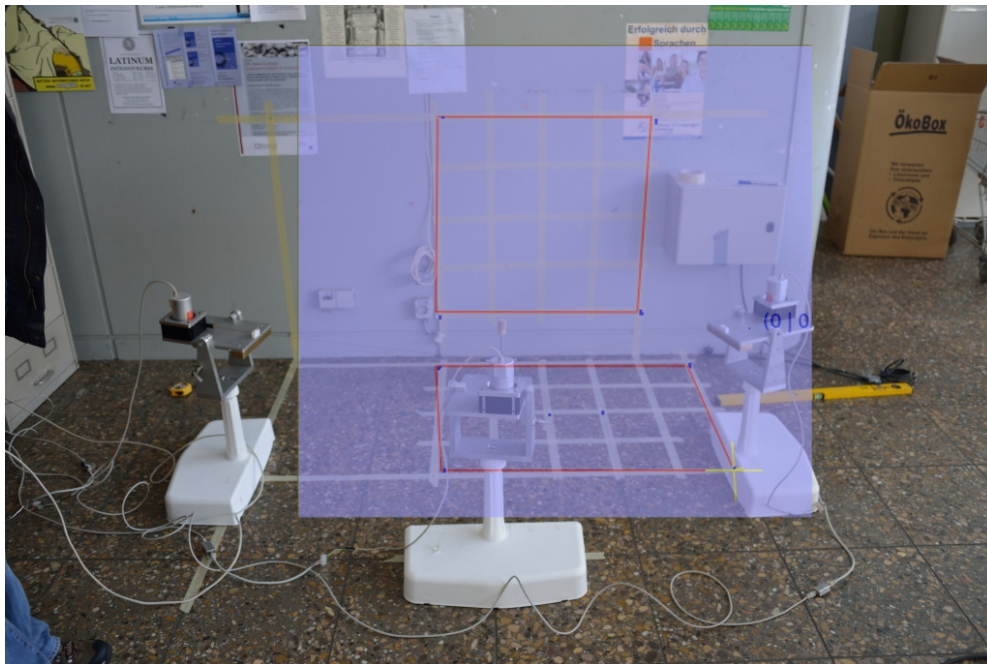




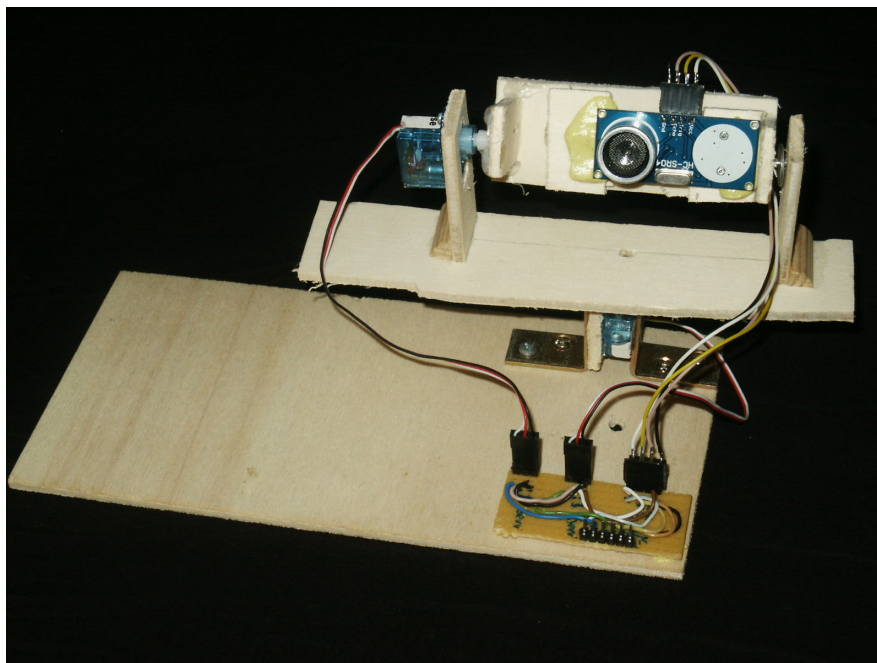
25: Pantora-Hardware: Analog-Digital-Wandler und Kontrolleinheit



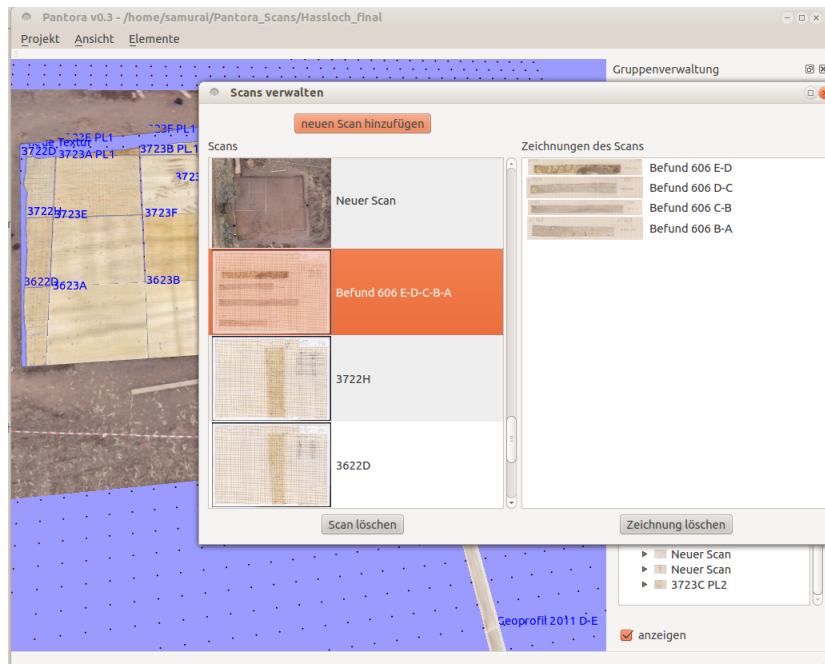
26: Pantora-Hardware: Das Ergebnis des ersten Aufnahmeversuchs



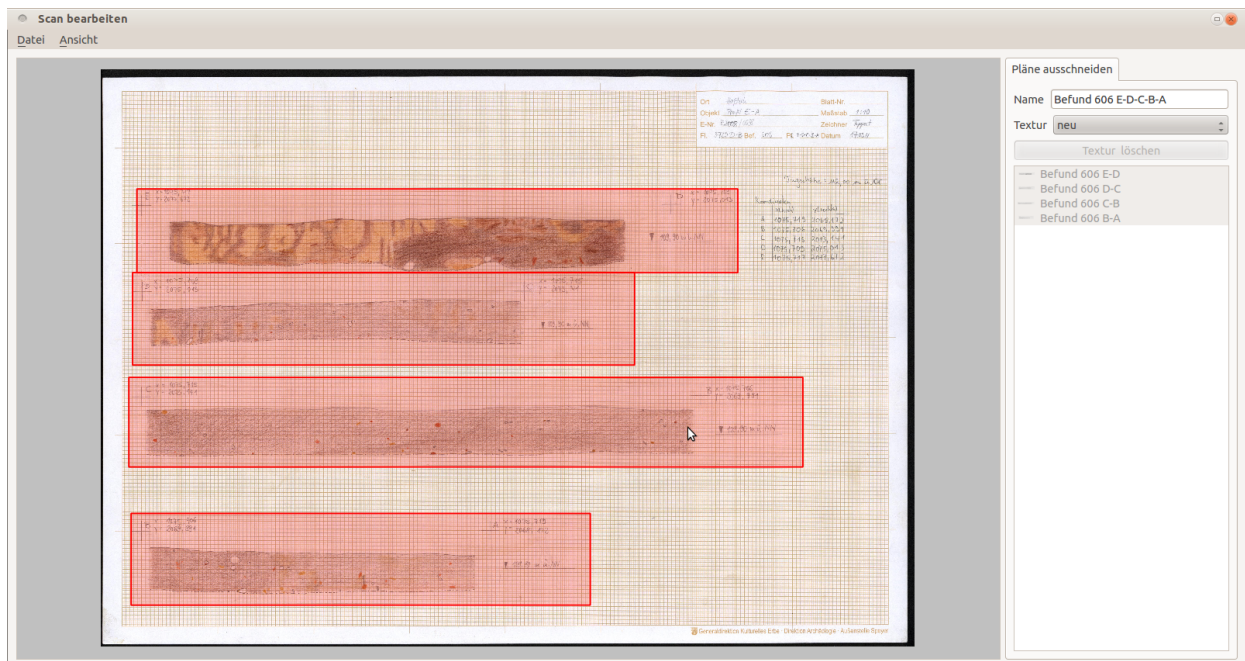
27: Pantora-Hardware: Foto des Testrasters mit überlagertem Screenshot der Aufnahme



28: Pantora-Hardware: Prototyp des Ultraschall-Sensors mit steuerbarem Stativ

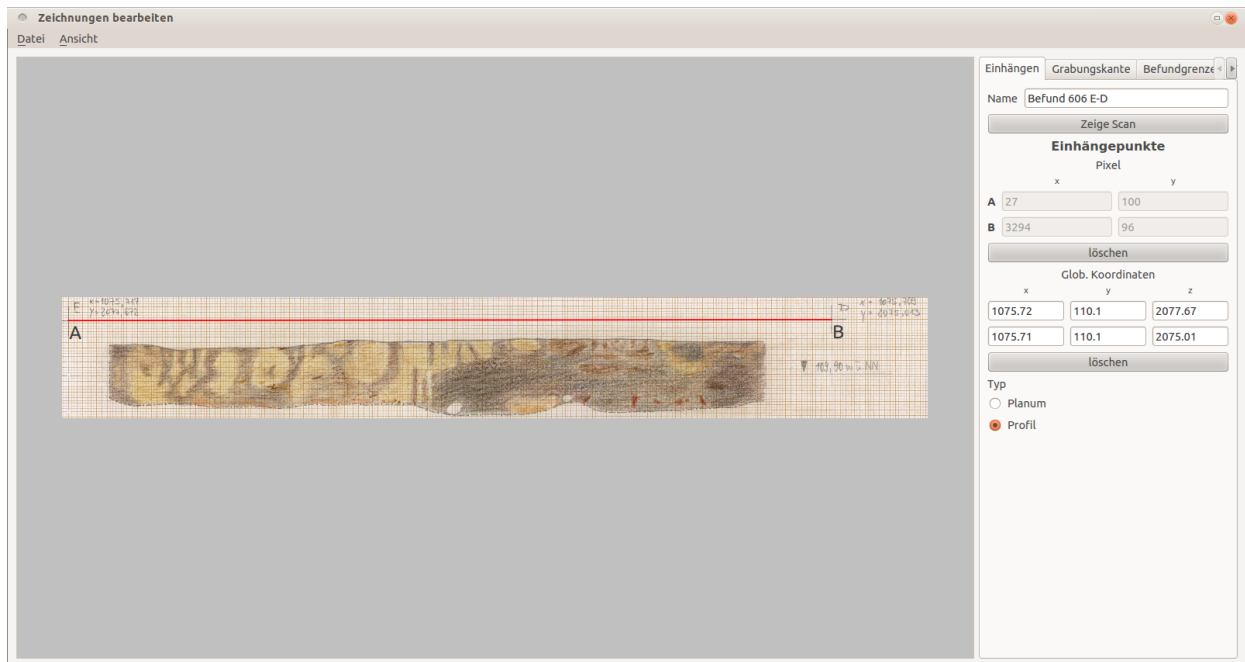


29: Pantora-Software: Ein ausgewählter Scan und die aus ihm extrahierten Zeichnungen im Scanmanager

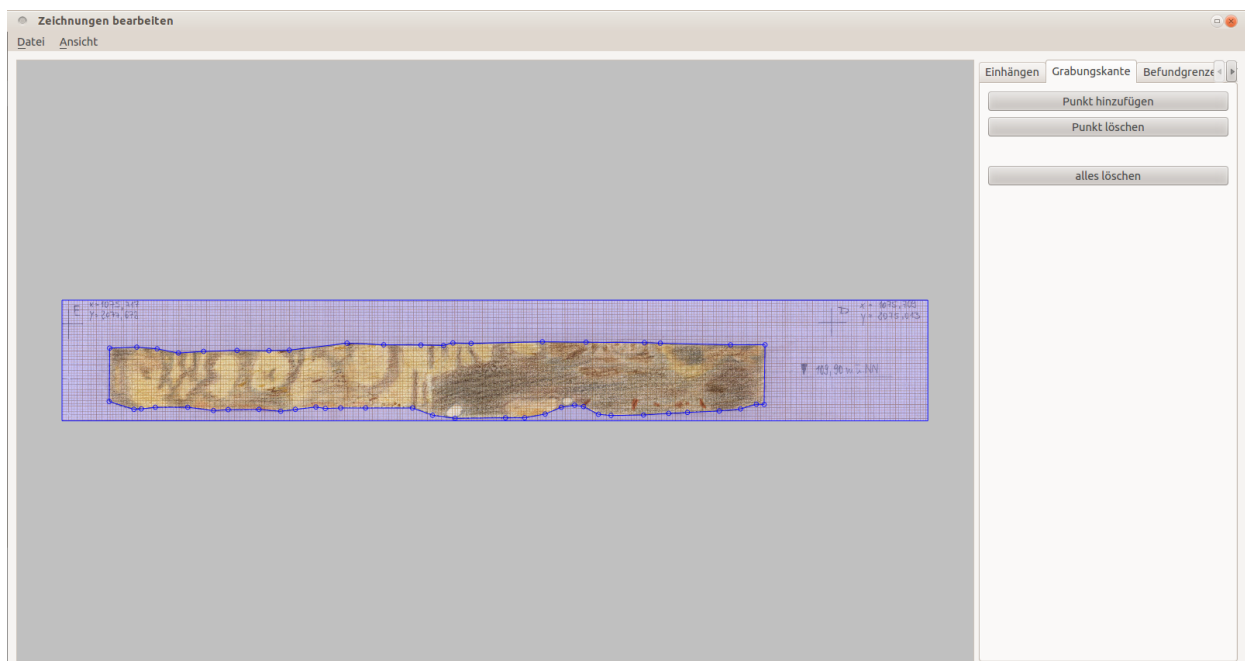


30: Pantora-Software: Der Scaneditor mit vier ausgeschnittenen Zeichnungen





31: Pantora-Software: Der Einhängemodus des Zeichnungseditors. Zwei Passpunkte und die 3D-Koordinaten genügen.



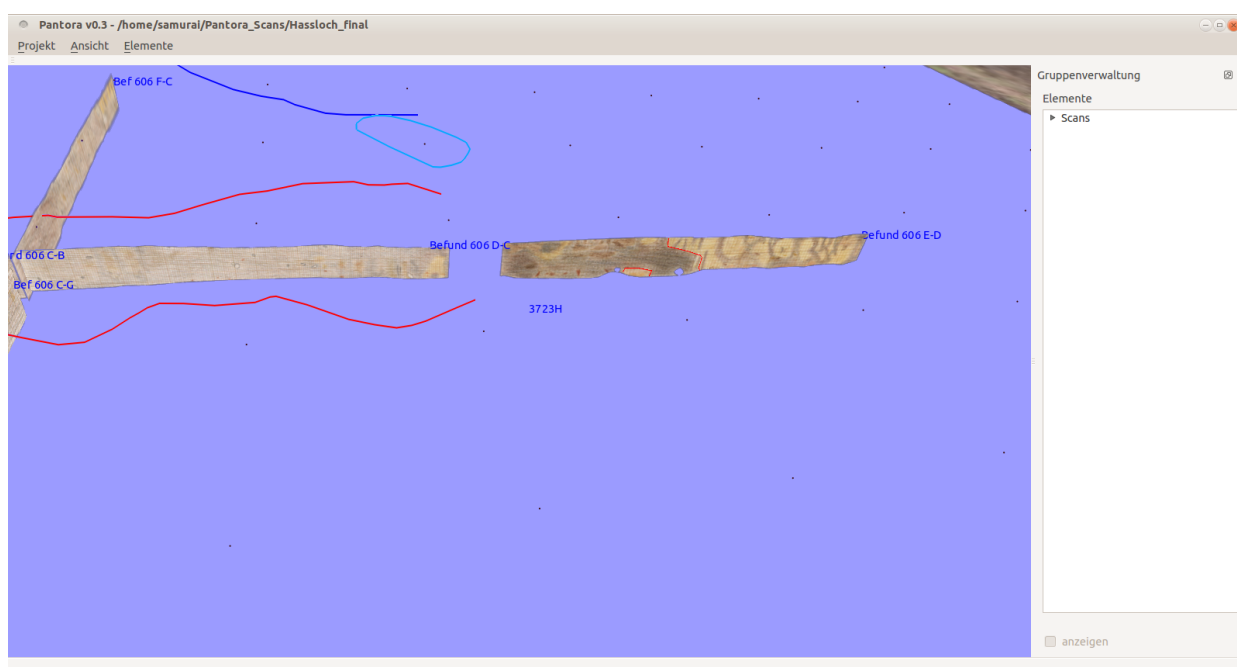
32: Pantora-Software: Die Funktion *Grabungskante nachzeichnen* des Zeichnungseditors. Ungewünschte Bereiche des Millimeterpapiers werden transparent.



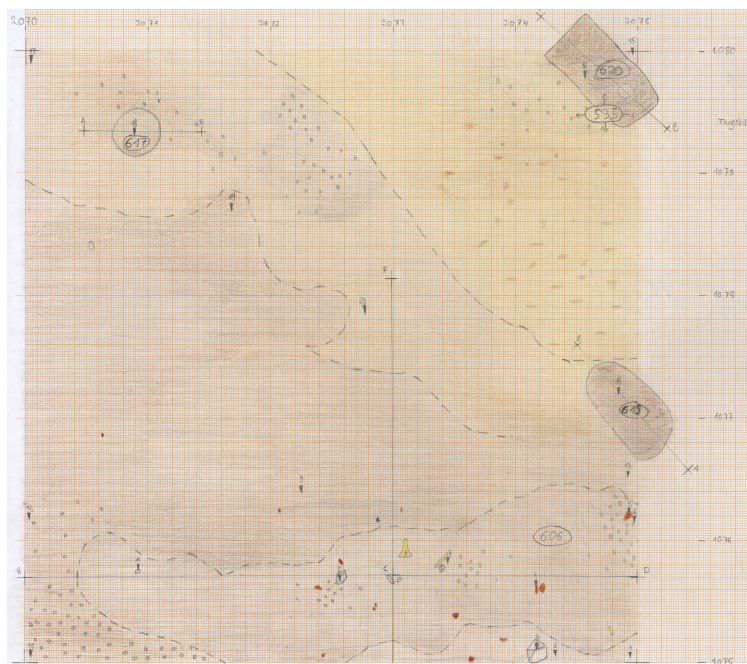
33: Pantora-Software: Zusätzliche, transparente Bereiche definieren



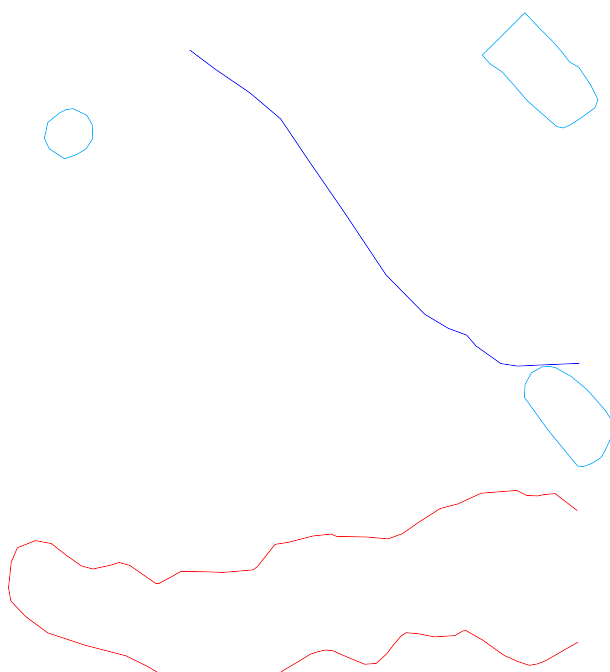
34: Pantora-Software: zwei extrahierte Befundgrenzen, rot eingefärbt



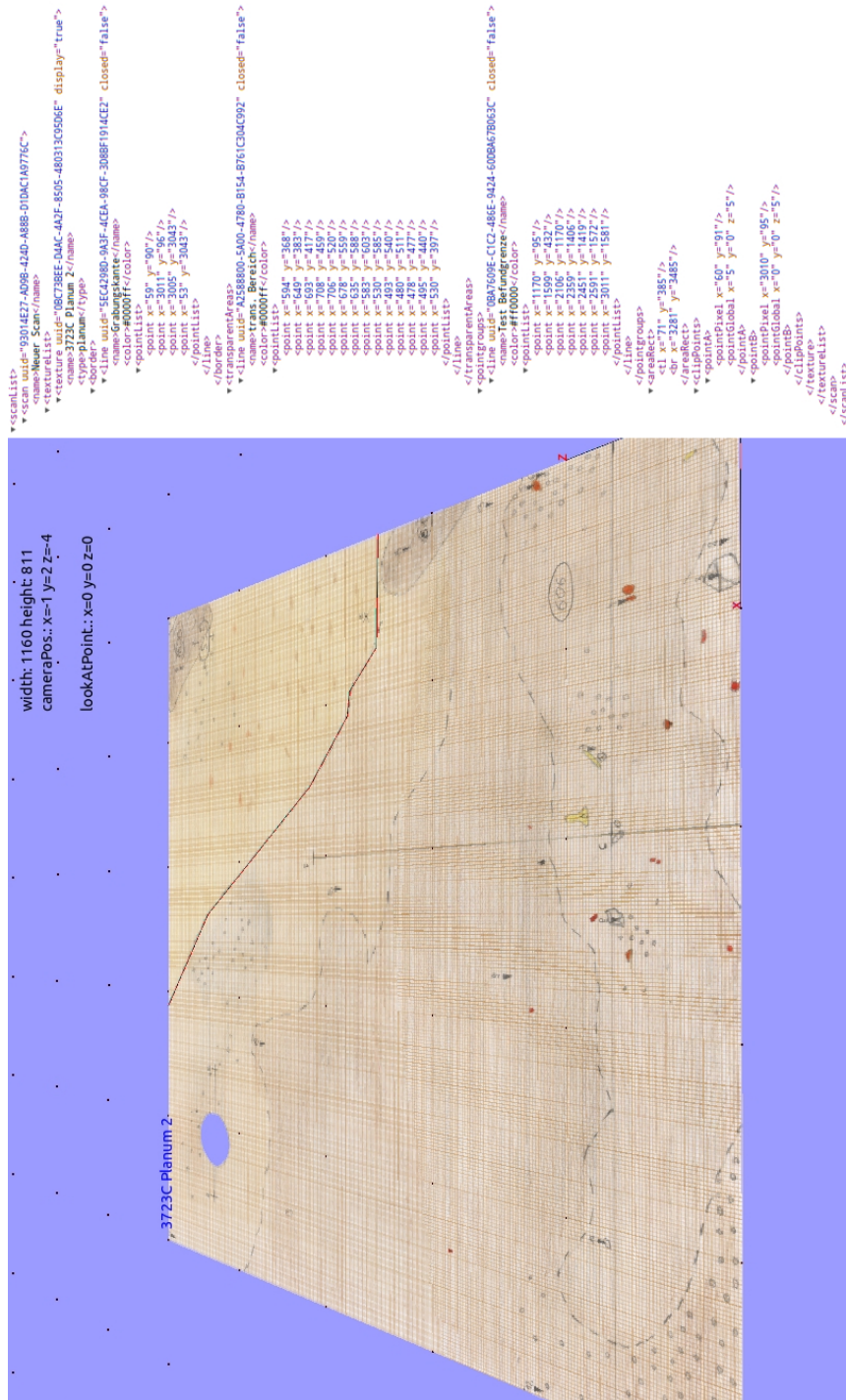
**35: Pantora-Software: die fertig bearbeitete und in das 3D-Modell eingehängte Profilzeichnung**



**37: Pantora-Software: Planumszeichnung**



**38: Pantora-Software: Extrahierte Befundgrenzen im SVG-Format**



36: Pantora-Software: links: Planum mit einer Befundgrenze, einem transparenten Bereich und eingezeichneter Befundgrenze. Rechts: der Inhalt der Speicherdatei im XML-Format.



# Literaturverzeichnis

[Grabungsrichtlinien Bayern]

Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege Vorgaben zur Dokumentation archäologischer Ausgrabungen in Bayern [http://www.blfd.bayern.de/medien/dokuvorgaben\\_05\\_2012.pdf](http://www.blfd.bayern.de/medien/dokuvorgaben_05_2012.pdf) Aufgerufen am: 13.10.2013

[Biel 1999]

Biel, J. H. (Hrsg.), Handbuch der Grabungstechnik (Stuttgart 1999)

[Grabungsrichtlinien Brandenburg]

Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum Richtlinien zur Grabungsdokumentation <http://www.bldam-brandenburg.de/images/stories/PDF/richtlinien%20zur%20grabungsdokumentation.pdf> Abgerufen am: 03.10.2013

[Dally et al. 2012]

Dally, O. – Fless, F. – Förtsch, R., Altertumswissenschaften. In: Neuroth et al. 2012, 161-178

[Dally – Komp 2011a]

Dally, O. – Komp, R. Leitfaden zur Anwendung von Informationstechnik in der archäologischen Forschung Teil 1, Verbindliche Vorgaben [http://www.dainst.org/sites/default/files/media/abteilungen/zentrale/it/it-leitfaden\\_teil1\\_vorgaben\\_v1\\_0\\_4.pdf](http://www.dainst.org/sites/default/files/media/abteilungen/zentrale/it/it-leitfaden_teil1_vorgaben_v1_0_4.pdf) Abgerufen am: 14.09.2013

[Dally – Komp 2011b]

Dally, O. – Komp, R. Leitfaden zur Anwendung von Informationstechnik in der archäologischen Forschung Teil 2, Praxisratgeber [http://www.dainst.org/sites/default/files/medien/de/IT-Leitfaden\\_Teil2\\_Praxisratgeber\\_v1\\_0\\_0-ENTWURF.pdf](http://www.dainst.org/sites/default/files/medien/de/IT-Leitfaden_Teil2_Praxisratgeber_v1_0_0-ENTWURF.pdf) Abgerufen am: 14.09.2013

[DNG]

DNG Digital Negative (DNG) Specification [http://www.images.adobe.com/www.adobe.com/content/dam/Adobe/en/products/photoshop/pdfs/dng\\_spec\\_1.4.0.0.pdf](http://www.images.adobe.com/www.adobe.com/content/dam/Adobe/en/products/photoshop/pdfs/dng_spec_1.4.0.0.pdf) Aufgerufen am: 21.09.2013

[Eggers 1974]

Eggers, H. J., Einführung in die Vorgeschichte (München 1974)

[Eggert 2001]

Eggert, M. K. H., Prähistorische Archäologie (Tübingen, Basel 2001)

[Eichstaed 1985]

Eichstaed, P., Der Feldpantograph. Archäologische Informationen 8 (Bonn, Köln 1985), 76-78

[Eiteljorg II 1995]

Eiteljorg II, H., The Archaeological Data Archive Project. BAR International series 600 (Oxford 1995), 245-247

[Eiteljorg II 1999]

Eiteljorg II, H., Archivin Archaeological Data. BAR International series 750 (Oxford 1999), 117-120

[Feldmann 2001]

Feldmann, B., OCR von Handschriften (Göttingen 2001), 107-143

[Grabungsrichtlinien Rheinland-Pfalz]

Generaldirektion Kulturelles Erbe - Rheinland Pfalz Ausgrabungs- und Dokumentationsrichtlinien [http://download.gdke-rlp.de/archaeologie/richtlinien\\_ausgrabung.pdf](http://download.gdke-rlp.de/archaeologie/richtlinien_ausgrabung.pdf) Aufgerufen am: 05.09.2013

[Gersbach et al. 1998]

Gersbach, E. – Hahn, J. – Schaich, M., Ausgrabung heute (Stuttgart 1998)

[Gloser 2000]

Gloser, K., Denkmalschutz in Baden-Württemberg, Praxis der Gemeindeverwaltung (Wiesbaden 2000)

[Gordon 1991]

Gordon, S., How safe is your data? In: Lockyear – Rahtz 1991, 75-80

[Häuber – Schütz 2004]

Häuber, C. – Schütz, F. X., Einführung in Archäologische Informationssysteme (AIS) (Mainz 2004)

[Jähne 2005]

Jähne, B., Digitale Bildverarbeitung, 6. überarb. und erw. Aufl. (Berlin, Heidelberg 2005)

[Kahmen 1997]

Kahmen, H., Vermessungskunde (Berlin, New York 1997)

[Kern 2008]

Kern, A. H. (Hrsg.), Salz-Reich, nummer 2 in Naturhistorisches Museum Wien. Veröffentlichung der Prähistorischen Abteilung (Wien 2008)

[Kinne 2006]

Kinne, A., Tabellen und Tafeln zur Grabungstechnik, 4., Aufl. (Dresden 2006)

[Kirschfink 2008]

Kirschfink, A. C. J., Grabungstechnische Anwendung von CAD (Saarbrücken 2008)

[Lockyear – Rahtz 1991]

Lockyear, K. – Rahtz, S. H. (Hrsg.), Computer applications and quantitative methods in archaeology 1990, BAR International series 565 (Oxford 1991)

[Magistrat der Stadt Wien 2004]

Magistrat der Stadt Wien (Hrsg.), Enter the past. The e-way into the four dimensions of cultural heritage. CAA 2003. Proceedings of the 31st Conference. Austria, April 2003, BAR International series 1227 (Oxford 2004)

[Neuroth et al. 2009]

Neuroth, H. – Oßwald, A. – Scheffel, R. – Strathmann, S. – Huth, K. (Hrsg.), nestor-Handbuch. Eine kleine Enzyklopädie der digitalen Langzeitarchivierung. (Göttingen, Boizenburg 2009)

[Neuroth et al. 2012]

Neuroth, H. – Strathmann, S. – Oßwald, A. – Scheffel, R. – Klump, J. – [Hrsg.], J. L. (Hrsg.), Langzeitarchivierung von Forschungsdaten (Boizenburg 2012)

[Niemeier – Kern 2001]

Niemeier, W. – Kern, F. (2001) Anwendungspotentiale von scannenden Messverfahren, 134-140 Nummer 1.2000 in Von Handaufmaß bis High Tech. Mainz am Rhein

[Pauli 1975]

Pauli, L., Die Gräber vom Salzberg zu Hallstatt (Mainz am Rhein 1975)

[Prasuhn 1995]

Prasuhn, K.-B., Vermessungstechnik im Garten- und Landschaftsbau, Blackwell-Fachwissen : Fachbibliothek grün (Berlin 1995)

[Reilly – Rahtz 1992]

Reilly, P. – Rahtz, S., Introduction: archaeology in the informations age. One world archaeology 21 (London 1992), 1-28

[Richards – Ryan 1985]

Richards, J. D. – Ryan, N. S., Data processing in archaeology, Cambridge manuals in archaeology (Cambridge 1985)

[Rohde-Enslin 2005]

Rohde-Enslin, S., Nicht von Dauer, Materialien aus dem Institut für Museumskunde, Sonderheft 2 (Berlin 2005)

[Sigl – Vetterling 2012]

Sigl, J. – Vetterling, C. H. (Hrsg.), Grabungsleitfaden (Darmstadt, Mainz 2012)

[Trinkwalder 2004]

Trinkwalder, A., Raw-Masse. Höhere Farbtiefe, weniger Fehler: Bessere Bilder dank Rohdaten. c't Magazin für Computer-Technik 2004 (Hannover 2004), 152-157

[Verband der Landesarchäologen 1999]

Verband der Landesarchäologen (Hrsg.), Ausgrabung und Prospektion - Durchführung und Dokumentation, Archäologischen Nachrichtenblatt 4 (1), Überarbeitete Fassung, Stand April 2006 (<ohne Ort> 1999)

[von Hoerschelmann 1978]

von Hoerschelmann, S. G., Archäologie und Photographie. Fünfzig Beispiele zur Geschichte und Methode. (Mainz am Rhein 1978), 11-26